

Aus der Chirurgischen Tierklinik  
der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

Vergleichende Darstellung röntgenologischer Befunde am Strahlbein und Hufgelenk des  
Pferdes gemäß dem Röntgenleitfaden 2007 und computertomographischen Befunden

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Grades eines  
Doctor medicinae veterinariae (Dr. med. vet.)  
durch die Veterinärmedizinische Fakultät  
der Universität Leipzig

eingereicht von  
Bettina Doering  
aus Hamburg

Leipzig, 2016

Mit Genehmigung der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

Dekan: Prof. Dr. Manfred Coenen  
Betreuer: Prof. Dr. Walter Brehm

Gutachter: Prof. Dr. Walter Brehm, Chirurgische Tierklinik der Veterinärmedizinischen  
Fakultät der Universität Leipzig, An den Tierkliniken 21, 04103 Leipzig

Prof. Dr. Peter Stadler, Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, Klinik für  
Pferde, Bünteweg 2, 30559 Hannover

Tag der Verteidigung: 06.09.2016

Für meine Familie



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Literaturübersicht.....</b>	<b>3</b>
2.1	Grundlagen der Anatomie .....	3
2.1.1	Anatomie des Hufgelenks .....	3
2.1.2	Bänder des Hufgelenks .....	4
2.1.3	Das Hufbein .....	4
2.1.4	Anatomie der Hufrolle .....	5
2.1.5	Bänder des Strahlbeins .....	6
2.1.6	Gelenkknorpel und subchondrale Knochenplatte .....	6
2.2	Bildgebende Verfahren.....	7
2.2.1	Digitales Röntgen .....	8
2.2.1.1	Indirektes System.....	8
2.2.1.2	Direktes System .....	9
2.2.1.3	Datenverarbeitung.....	10
2.2.1.4	Datenspeicherung .....	10
2.2.1.5	Computertomographie .....	11
2.2.1.6	Grundprinzip der CT.....	12
2.2.1.7	Spiral-CT und Multidetektor-CT.....	12
2.2.1.8	Entstehung des Bildes und Akquisition .....	14
2.2.1.9	Akquisitionsparameter der Multidetektor-CT .....	15
2.2.1.10	Bildrekonstruktionsparameter.....	17
2.2.1.11	Rekonstruktionsverfahren.....	18
2.2.1.11.1	Multiplanare Rekonstruktionen (MPRs).....	18
2.2.1.11.2	3D-Oberflächenrekonstruktion .....	19
2.2.1.11.3	Volume Rendering .....	19
2.3	CT in der orthopädischen Pferdemedizin .....	20
2.4	Die CT an den distalen Gliedmaßen des Pferdes .....	21
2.5	Die Beurteilungsgrundlage, der Röntgenleitfaden .....	22
2.6	Die Diagnose der Strahlbeinerkrankung.....	25
2.7	Die Darstellung des Strahlbeins im Röntgenbild .....	27
2.7.1	Übersichtsaufnahme 90° gemäß dem RöLF 2007 .....	27
2.7.2	Strahlbein 0°-Aufnahme gemäß dem RöLF 2007.....	29
2.8	Röntgenologische Veränderungen .....	30
2.8.1	Hufgelenk .....	30
2.8.1.1	Degenerative Gelenkerkrankungen (Osteoarthritiden, OA).....	31
2.8.1.2	Entzündungen des Hufgelenks .....	32
2.8.1.3	Konturveränderungen und periartikuläre Zubildungen .....	33
2.8.1.4	Strukturveränderungen (Erosionen, Ulzerationen, Usuren und zystoide Defekte).....	34
2.8.1.5	Osteochondrose, Osteochondrosis dissecans (OCD) und isolierte Verschattungen .....	36

2.8.2	Hufbein.....	36
2.8.3	Processus extensorius .....	37
2.8.4	Strahlbein .....	38
2.8.4.1	Canales Sesamoidales .....	39
2.8.4.2	Struktur.....	40
2.8.4.3	Kontur .....	42
<b>3</b>	<b>Eigene Untersuchungen .....</b>	<b>45</b>
3.1	Material .....	45
3.2	Methode .....	46
3.2.1	Röntgenologische Untersuchung .....	46
3.2.2	Computertomographische Untersuchung.....	47
3.2.3	Befundung der akquirierten Daten .....	48
3.2.4	Verifizierung der Daten .....	53
3.2.5	Klassifizierung des Pferdmaterials .....	53
<b>4</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>54</b>
4.1	Häufigkeit der röntgenologischen Befunde.....	54
4.2	Häufigkeiten der computertomographischen Befunde.....	58
4.3	Klassifizierung der Pferde in Röntgenklassen vor und nach der CT- Untersuchung und Einfluss des Hufgelenk-/Strahlbeinbereichs auf die Gesamtbeurteilung.....	62
4.4	Veränderungen der Röntgenklassen nach der computertomographischen Untersuchung Diese gehen nicht in die Gesamtbeurteilung mit ein und werden gesondert hervorgehoben. ....	64
4.5	Vergleich der Prävalenz spezieller Befunde in der röntgenologischen und in der CT-Untersuchung.....	67
4.6	Veränderung der Röntgenklasseneinteilung nach hypothetischer Erweiterung des Standards um die Strahlbeintangentialaufnahme an den Vorderextremitäten und die Oxspringaufnahme an den Hinterextremitäten	70
4.7	Zwischenklassen .....	73
4.8	Spezielle Fallstudien mit Bildsequenzen der röntgenologischen und computertomographischen Untersuchung .....	74
4.8.1	Hufgelenk.....	74
4.8.2	Hufbein.....	81
4.8.3	Strahlbein .....	83
<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>100</b>
5.1	Ziel der Untersuchungen .....	100
5.2	Diskussion des Materials und der Methode.....	101
5.2.1	Anmerkungen zum Untersuchungsmaterial .....	101
5.2.2	Anmerkungen zur Röntgenuntersuchung.....	103
5.2.3	Anmerkungen zur CT-Untersuchung.....	104
5.2.4	Anmerkungen zu den Sekundärrekonstruktionen .....	105
5.2.5	Anmerkungen zur Beurteilbarkeit des Weichteilgewebes .....	106
5.2.6	Anmerkungen zur Auswertung der Daten .....	108
5.3	Diskussion der Ergebnisse.....	109

5.3.1	Strahlbein .....	109
5.3.1.1	Strukturveränderungen .....	109
5.3.1.2	Veränderte Canales sesamoidales .....	114
5.3.1.3	Kontur-Zubildungen.....	116
5.3.1.4	Isolierte Verschattungen .....	119
5.3.1.5	Kortikomedulläre Demarkation .....	121
5.4	Hufgelenk .....	121
5.4.1	Defekte der subchondralen Knochenplatte .....	121
5.4.2	Zubildungen .....	123
5.5	Veränderungen an den Hintergliedmaßen .....	124
5.6	Einteilung der Pferde in Röntgenklassen und Überprüfung der Zuordnung der Röntgenklassen des RÖLF 2007 nach der CT-Untersuchung.....	126
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>131</b>
<b>7</b>	<b>Summary .....</b>	<b>133</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>135</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>137</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>139</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>164</b>
	<b>Danksagung .....</b>	<b>166</b>

## Abkürzungsverzeichnis

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
Aa.	Arteriae
ACR	American College of Radiology
AZ	Anzahl
AVMA	American Veterinary Medical Association
BTK	Bundestierärztekammer
CD-ROM	Compact Disc Read-Only Memory
chron.	chronisch
CR	Computed Radiography
CT	Computertomographie
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
dist.	distal
distt.	distales
DR	Direct Digital Radiography
DVD	Digital Versatile Disc
ext.	extensorius
FC11	Weichteilfilter
FC 30	Knochenfilter
FSHB	Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinband
Forr.	Foramina
FOV	Field of View
HB	Hufbein
Hb	Hinterbein
HE	Hounsfield-Einheit
HG	Hufgelenk
HG/SB	Hufgelenk-/Strahlbeinbereich
HIS	Hospital Information System
hl	hinten links
hr	hinten rechts
ISO	International Organization for Standardization
KB	Kronbein
kV	Kilovolt
lat.	lateinisch
LH	Lahmheit
Lig.	Ligamentum
LUT	Look up table
LI	linearer Algorithmus
li.	links
mAs	Milliamperesekunden
MB	Megabyte
MDCT	Multi-Detektor-Computertomographie



MPR	multiplanare Rekonstruktion
MRT	Magnetresonanztomographie
MSCT	Multislice Computertomography
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
OA	Osteoarthritis
OC	Osteochondrose
OCD	Osteochondrosis Dissecans
PACS	Picture Archiving and Communications System
P. e.	Processus extensorius
Pfd.	Pferd
PR	Projektionsradiographie
Proc.	Processus
prox.	proximal
PT	Podotrochlose
PVC	Polyvinylchlorid
re.	rechts
RI	Rekonstruktionsinkrement
RIS	Radiology Information System
ROI	Region of interest
Rö	Röntgen
RökA	Röntgenkatalog
RöKl.	Röntgenklasse
RöLF	Röntgenleitfaden
SB	Strahlbein
ses.	sesamoidales
sSt	schräger Seitenteil
SHB	Strahlbein-Hufbeinband
Sk	Sagittalkamm
SSCT	Singleslice Computertomography
SSD	surface shaded display
TBS	tiefe Beugesehne
Vb	Vorderbein
vl	vorne links
vr	vorne rechts
VRT	Volume Rendering Technik
WL	Window Level
WW	Window Width
$\mu$	linearer Schwächungskoeffizient



## 1 Einleitung

Die Röntgenuntersuchung hat sich als standardisierter Bestandteil von Auktions-, Kör- und Ankaufsuntersuchungen in den letzten Jahren in der tierärztlichen Praxis etabliert. Um im Rahmen einer Ankaufsuntersuchung die Vergleichbarkeit und Vereinheitlichung der tierärztlichen Tätigkeit sowie einer anschließenden neutralen Befundung und Beschreibung von Röntgenbildern zu ermöglichen, wurde 1993 der „Leitfaden für die röntgenologische Beurteilung bei der Kaufuntersuchung des Pferdes“ (GPM und BTK 2007) entwickelt und liegt nun in seiner überarbeiteten Fassung von 2007 vor (RöLF 2007). Das Postulat, den Röntgenleitfaden stets neuen abgesicherten, wissenschaftlichen Erkenntnissen anzupassen (STADLER 2005, WEINBERGER 2006), ist in der Präambel des RöLF 2007 integriert (HERTSCH 2008). Der Leitfaden in seiner überarbeiteten Form hat gemäß der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF 2006) das Niveau der niedrigsten Stufe wissenschaftlicher Evidenz erreicht (SCHÜLE 2008). Höhere Evidenzstufen sind wünschenswert (MAIR 2006). Im Rahmen der Ankaufsuntersuchung werden die röntgenologisch erfassbaren Veränderungen am Strahlbein und Hufgelenk des Pferdes im Hinblick auf die gesundheitliche Bedeutung des Hufrollenkomplexes und des „palmar foot syndroms“ (RIJKENHUIZEN 2006) interpretiert und klassifiziert. Dass die Hufrollenerkrankung die häufigste Wertminderung beim Warmblüter darstellt (BELLINGHAUSEN 1996), unterstreicht die Wichtigkeit der Detektion dieser Veränderungen im Rahmen der Ankaufsuntersuchung und demonstriert den forensischen Nutzen der Röntgenuntersuchung.

Röntgenologisch stellen das Strahlbein und das Hufgelenk aufgrund ihrer sehr komplexen Anatomie und deren Abweichungen sowie verschiedener, pathologischer Veränderungen den Tierarzt nach wie vor vor das Problem subjektiver Befundbewertungen. Folglich führt dies zu einer hohen Inzidenz von Fehlbefundungen (NEUHAUS 2007) sowie zu einer mangelnden Übereinstimmung zwischen verschiedenen Untersuchern (GROTH et al. 2009) als auch zu einer fehlenden klaren und sicheren Festlegung einer definierten Röntgenklasse trotz der Interpretationshilfe durch den Röntgenleitfaden 2007 (RöLF 2007). Die Häufigkeit von Zwischenklassenbefundungen verdeutlicht diese Problematik (STADLER 2005).

Mit der vorliegenden Arbeit soll dem Wunsch nachgekommen werden, die röntgenologischen Standardaufnahmen gemäß dem RöLF 2007 für die Beurteilung eines Pferdes in der Ankaufsuntersuchung zu überprüfen. Es soll untersucht werden, ob der von LAUK (2002) bezeichnete Minimalstandard - die lateromediale Übersichtsaufnahme 90° und die spezielle dorsopalmare 0°- Aufnahmetechnik nach Oxspring- eine ausreichende Darstellung aller ossärer Veränderungen im Hufgelenk-/Strahlbeinbereich sowie die folgerichtige korrekte Klassifizierung in die entsprechende Röntgenklasse gewährleistet. Zu diesem Zweck wurden 200 Gliedmaßenpräparate nach dem Standard des Röntgenleitfadens im Bereich des Strahlbeines untersucht und ausgewertet. Zur Überprüfung der hierdurch gewonnenen Befunde diente ein 16-zeiliger Spiral-Computertomograph und eine integrierte Vitrea®-Workstation zur Generierung eines volumetrischen Datensatzes des Hufgelenk-/Strahlbeinbereichs. Abschließend erfolgt der Vergleich der Daten über Frisch- und Mazerationspräparate und ihre

fotographische Dokumentation, um endlich die Befunde der Röntgenuntersuchung zu den computertomographischen und pathomorphologischen Befunden in Beziehung zu setzen. Zusätzlich wird betrachtet, inwieweit sich der Informationsgehalt durch eine hypothetische Erweiterung des Standards um die Strahlbeintangentialaufnahme, die hier mittels der coronaren Schnittebene der CT realisiert wird, steigern lässt und welchen Einfluss das Ergebnis auf die Gesamtbeurteilung eines Pferdes hat.

## **2 Literaturübersicht**

### **2.1 Grundlagen der Anatomie**

Die genaue Kenntnis anatomischer Gegebenheiten und Beziehungen einzelner morphologischer Strukturen zueinander ist die Grundvoraussetzung für die qualitative Befundung von röntgenologischem und computertomographischem Bildmaterial (BARBEE et al. 1987, HATHCOCK und STICKLE 1993).

#### **2.1.1 Anatomie des Hufgelenks**

Das Hufgelenk (*Articulatio interphalangea distalis manus*) ist typbedingt ein Sattelgelenk, in funktioneller Hinsicht ein unvollkommenes Wechselgelenk (WISSDORF et al. 2010).

Die Gelenkgrube wird hierbei einerseits von der *Facies articularis* des Hufbeins (*Phalanx distalis*) und andererseits von der *Facies articularis* des Strahlbeins (*Os sesamoideum distale*) gebildet. Die korrespondierende Gelenkerhöhung des Hufgelenkes bildet dagegen die distale Kronbeinepiphyse (*Phalanx media*) mit seiner sattelförmigen Gelenkwalze (NICKEL et al. 1992). Als Hilfgelenkfläche (*Articulatio interphalangea distalis*) bezeichnet man die Verbindung zwischen Hufbein und Strahlbein (WINTZER und DÄMMRICH 1971, NICKEL et al. 1992).

Das Hufgelenk agiert vorwiegend in Streck- oder Beugebewegung (WISSDORF et al. 2010). Die Streckbewegung in der Stützbeinphase erfolgt durch den Zug der Endsehne des *Musculus extensor digitalis communis*, der fächerförmig am Streckfortsatz des *Processus extensorius* des Hufbeins, wohingegen die Beugung vorwiegend durch den Zug der tiefen Beugesehne bewirkt wird, welche an der *Facies flexoria* des palmaren Hufbeins distal der *Foramina soleare* inseriert (GEYER und LÖSCHMANN 2007). In seiner Funktion als Wechselgelenk können Bodenunebenheiten zusätzlich durch eingeschränkte Dreh- und Seitwärtsbewegungen bis 15° ausgeglichen werden (NICKEL et al. 1992, HERTSCH 1992). Die Reglementierung dieser Bewegungen erfährt es durch verschiedene Bänder (KÖNIG und LIEBIG 1999). Die Hufgelenkkapsel, welche durch die entsprechenden Bänder des Gelenkes verstärkt wird (REINACHER 2007), findet ihre Verankerung zum einen im periostalen Überzug der Gelenkwalze des Kronbeins, zum anderen in der von Huf- und Strahlbein gebildeten Gelenkvertiefung (DYCE et al. 1997). Die Kapsel liegt dem Knochen nicht straff an. Stattdessen werden verschiedene Recessus gebildet, um dem Gelenk trotz dieser Verankerung eine hohe Flexibilität zu geben.

Eine sich über den Hornschuh hinaus bis auf Höhe des proximalen Kronbeindrittels erstreckende dorsoproximale Ausbuchtung (*Recessus dorsalis*) wird dorsal von der gemeinsamen Strecksehne durch eine Verwachsung des *Stratum fibrosum* der Gelenkkapsel und des *Peritendineums* sowie seitlich durch die Kollateralbänder des Hufgelenkes begrenzt. Die palmaroproximale Ausbuchtung (*Recessus palmaris proximalis*) wird durch die elastischen Schenkel des Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinbandes in eine craniale und eine caudale Bucht unterteilt (BOWKER et al. 1997, TURNER 1989). Durch den elastischen Kronbeinschenkel

der tiefen Beugesehne wird der Recessus im proximalen Teil vom distalen Endblindsack der gemeinsamen Fesselbeugesehnenscheide getrennt. In enger topographischer Beziehung steht die Ausbuchtung zum Recessus proximalis des Hufrollenschleimbeutels, während die palmarodistale Ausbuchtung durch das Strahlbein-Hufbeinband über eine Verstärkung der Kapsel vom Recessus palmaris distalis der Bursa podotrochlearis separiert wird (WISSDORF et al. 2010).

### **2.1.2 Bänder des Hufgelenks**

Die Seitenbänder (Ligamenta collateralia mediales und laterales) stabilisieren das Gelenk als Brücke zwischen den Bandgruben des Hufbeins und distodorsalen Kronbeins (DYSON und MURRAY 2004). Zudem stehen sie in enger Verbindung sowohl mit der Gelenkkapsel des Hufgelenkes als auch mit dem Dorsalrand der Hufknorpel und dem Hufknorpel-Kronbeinband. Die Gelenkkapsel wird im palmaren Bereich der Facies articularis zusätzlich durch das Strahlbeinhufbeinband (Ligamentum sesamoideum distale impar) verstärkt, ein Band, dessen fächerförmiger Ursprung am Margo distalis des Strahlbeins konvergiert (NICKEL et al. 1992).

### **2.1.3 Das Hufbein**

Das Hufbein (Os ungulare), dessen Form zusammen mit den lateral und medial gelegenen Hufknorpeln und dem Strahlbein der umgebenden Hufkapsel entspricht, lässt sich in drei Abschnitte gliedern. Die konvexe, medial stets steiler stehende Wandfläche konvergiert sowohl palmar resp. plantar mit der konkaven Sohlenfläche am Tragrand (Margo solearis) als auch dorsoaxial mit der Gelenkfläche am Kronrand (Margo coronalis).

Zahlreiche Öffnungen im Bereich ihrer Seitenfläche gewähren den Gefäßen den Eintritt zur Vaskularisation der Lederhaut. Unterstützt wird dies durch die beidseits ausgebildete Wandrinne (Sulcus parietalis medialis resp. lateralis), die sich im Bereich der Sohle als Sohlenrinne (Sulcus solearis med. resp. lat.) fortsetzt, um letztendlich über das Sohlenloch (Foramen soleare laterale resp. mediale) und den Hufbeinkanale (Canalis terminalis) in einer Gefäßkammer zu enden, die ein feines Gefäßnetzwerk zur Versorgung des Wand- und Sohlensegmentes unterbringt (NICKEL et al. 1992). Die Lederhaut (Pododerma) trägt in diesem Bereich in ihrer Vereinigung mit dem Hornschuh (Epidermis) die Funktion des Hufbeinträgers (KÖNIG und LIEBICH 1999). Der Tragrand kann durch eine kleine Kerbe (Crena marginis solearis) eingezogen sein. Die Sohlenfläche weist im palmaren resp. plantaren Bereich eine Ansatzfläche (Facies flexoria) zur Insertion der tiefen Beugesehne am Hufbein auf.

Die Gelenkfläche wird durch eine axiale Erhöhung in einen mit der Kronbeinwalze artikulierenden Teil gegliedert und bietet damit palmar resp. plantar noch eine kleinere Fläche zur Artikulation mit dem Strahlbein. Diese Fläche wird auch als Hilfgelenk bezeichnet (WINTZER und DÄMMERICH 1971). Der Streckfortsatz des Hufbeins ist die dorsoaxiale Ausziehung des Kronrandes nach proximal und präsentiert sich unterschiedlich prominent. An den beidseits ausgebildeten Hufbeinästen (Processus palmaris medialis bzw. lateralis) sorgen Einziehungen für gespaltene Astwinkel oder geschlossene Astlöcher (Forr. Processi

palmares). Proximodorsal der Äste befinden sich die Bandgruben zur Insertion des Hufgelenkkollateralbandes (NICKEL et al. 1992, DYCE 1997).

#### **2.1.4 Anatomie der Hufrolle**

Die Hufrolle (Podotrochlea) setzt sich aus folgenden, verschiedenen morphologischen Strukturen zusammen (BRANSCHIED 1977, WISSDORF 2010).

Das Strahlbein (Os sesamoideum distale) bildet den knöchernen Anteil, der Hufrollenschleimbeutel (Bursa podotrochlearis) den synovialen Anteil. Die palmar gerichtete Facies flexoria des Strahlbeins fungiert als Gleitlager (Scutum distale) (POOL et al. 1989) für die am Hufbein inserierende tiefe Beugesehne, die durch die Umlenkung über das Strahlbein einen konstanten Winkel zum Hufbein erfährt (BREIT 1995).

Das Strahlbein hat die Form eines Weberschiffchens (HERTSCH et al. 1982, WISSDORF et al. 2010), weshalb es im internationalen Sprachgebrauch auch als „navicular bone“ bezeichnet wird (DELIUS 1982). Es vergrößert als Kapselkörper des Hufgelenkes die Gelenkfläche des Hufbeins zur Artikulation mit dem Kronbein (DÄMMRICH et al. 1983) und stellt gleichzeitig das distale Sesambein dar. Die Sehnengleitfläche (Facies flexoria), eine von sechs am Strahlbein zu unterscheidenden Grenzflächen, wird durch eine sagittal verlaufende, kammartige Erhebung, den so genannten Sagittalkamm, in zwei annähernd gleichgroße Teile gegliedert (O'BRIEN et al. 1975). Der Knochenüberzug besteht hier aus Faserknorpel und ist mit der Wand der Bursa podotrochlearis verschmolzen (NICKEL et al. 1992). Kleine knorpelfreie Bezirke werden hier als Fossae nudatae bezeichnet (WISSDORF et al. 2010). Im Gegensatz dazu besitzt die glatte und dorsal gelegene Facies articularis phalangea media zur Artikulation mit der Kronbeinwalze einen hyalinen Knorpelüberzug.

Der proximale Rand (Margo proximalis) dagegen ist schmal und rau, in der Mitte leicht verbreitert und gewährt eine fächerförmige Insertionsstelle für die sich an ihm vereinigenden Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinbänder. Sein Rand ist nur vereinzelt mit Gefäßkanälen (Foraminae nutriciae) durchzogen. Der distale Rand (Margo distalis) ist durch seine Dreigliedrigkeit (HERTSCH et al. 1982) breiter als der proximale Rand und besitzt mittig seine größte Ausdehnung. An der Zona intermedia sind die von HERTSCH et al. (1982) bezeichneten synovialen Einbuchtungen des Hufgelenkes, die Canales sesamoidales, in unterschiedlicher Ausprägung zu finden. Die den Knochen versorgenden Aa. nutriciae verlaufen randständig in diesen Einbuchtungen und es konnte in rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen von DROMMER (1992) gezeigt werden, dass ein- bis zweischichtige unregelmäßig ausgebildete, lockere Lagen von Synovialdeckzellen diese Anteile des Hufgelenkes auskleiden (HERTSCH et al. 1982). Die dorsal gelegene Facies articularis phalangis distalis trägt zur Artikulation mit dem Hufbein einen hyalinen Knorpelüberzug. Der Margo ligamenti bildet den Ursprung des Strahlbeinhufbeinbandes. Im Querschnitt zeigt das Strahlbein einen sehr regelmäßigen und geordneten Aufbau. Das Zentrum, die Spongiosakernzone, ist weniger dicht und wird von dichterem, scharf begrenzten Spongiosaknochen umgeben (DIEHL und CORDEY 1983). Das Strahlbein steht in enger Verbindung zu weiteren anatomischen Strukturen des Hufrollen-Apparates. Gemäß DYSON (2011) gehören auch die Strahlbeinbänder zu dieser komplexen Einheit.

### **2.1.5 Bänder des Strahlbeins**

Das Strahlbein wird einerseits durch den auf die Facies flexoria ausgeübten Druck der tiefen Beugesehne, andererseits durch das Bandsystem des Strahlbeins in seiner Lage fixiert (TÓTH 1989).

Das am Margo ligamenti des Strahlbeins entspringende, stark ausgeprägte und straffe Strahlbein-Hufbeinband (Ligamentum sesamoideum distale impar) inseriert an der palmarodistalen Hufbeinsohlenfläche (WISSDORF et al. 2010) und verbindet somit einerseits das Hufgelenk und das Strahlbein (HERTSCH et al. 1982) und trennt andererseits das Hufgelenk und die Bursa podotrochlearis (WISSDORF et al. 2010). Zudem verstärkt es die Hufgelenkscapsel (TÓTH 1989). Mittels Kontrastmittelinjektionen konnte gezeigt werden, dass zwischen den einzelnen Faserbündeln des Strahlbein-Hufbeinbandes Aussackungen der Hufgelenkscapsel nach distal führen und sich somit in enger Beziehung zur Bursa podotrochlearis befinden (HERTSCH et al. 1982). Eine direkte Verbindung zwischen Hufgelenk und Bursa podotrochlearis besteht nicht (CALISLAR und ST. CLAIR 1969).

Durch die im Bereich der proximalen Bandgruben des Fesselgelenkes entspringenden und am proximalen Rand des Strahlbeines lateral und medial ansetzenden elastischen Schenkel des Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinbandes (Ligamenta sesamoidea collateralia laterales et mediales) sowie durch die von den Seitenenden des Strahlbeins bis zur Innenseite der Hufknorpel reichenden Hufknorpel-Strahlbeinbänder (Ligamenta chondrosesamoidea laterales et mediales) wird das Strahlbein in seiner Lage fixiert (HERTSCH et al. 1982, NICKEL et al. 1992, WISSDORF et al. 2010).

Das Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinband gibt zusätzlich Zwischenansatzschenkel an die jeweils axiale Fläche des Hufknorpels ab, bevor es am proximalen Strahlbeinrand konvergiert (KAINER 1989, WISSDORF et al. 2010).

Die Aufgabe des gesamten Bandapparates liegt in der Restriktion der passiven Beweglichkeit des Strahlbeines in transversaler und dorsopalmarer Richtung (TÓTH 1989) sowie zusammen mit den palmaren Kronbeinbändern und der tiefen Beugesehne in der Vermeidung einer Hyperextension der Zehe in der Fußungsphase (STASHAK 1989, HERTSCH 1990).

### **2.1.6 Gelenkknorpel und subchondrale Knochenplatte**

An der Oberfläche der Epiphysen befinden sich die mit einer hyalinen und nur wenigen Millimeter starken Knorpelschicht überzogenen Gelenkflächen. Sie begrenzen die Gelenkhöhle (Cavum articulare) und werden von der Gelenkscapsel (Capsula articularis) und den Gelenkbändern (Ligamenta articularia) umschlossen und stabilisiert.

An konvexen Gelenkflächen nimmt der Knorpel zentral an Stärke etwas zu, an konkaven Gelenkflächen zeigt er hingegen peripher eine geringgradige Dickenzunahme. Der Gelenkknorpel erscheint makroskopisch und insbesondere an den dünneren Bereichen im frischen Zustand an seiner Oberfläche mit glatter und leicht bläulicher Gleitfläche (GARDNER und MC GILLIVRAY 1971, NICKEL et al. 1992). Mit fortschreitendem Alter und Entwicklung erscheint seine Oberfläche gelblich (KÖNIG und LIEBICH 2002). Eine schmale verkalkte Zone verbindet ihn kompensatorisch mit dem festen, periostalen Überzug der Knochenoberfläche.



Das in Zugspannungsrichtung angeordnete, dreidimensionale Fibrillennetzwerk aus Kollagenfasern vereinigt zugleich elastische und stoßdämpfende Eigenschaften (JEFFERY et al. 1996, NICKEL et al. 1992).

Im Bereich der Facies flexoria des Strahlbeins findet sich hingegen ein Überzug aus Faserknorpel. Entsprechend dem physiologischen Belastungsmuster durch den Druck der tiefen Beugesehne nimmt die Dicke des fibrösen Knorpels zum proximalen und distalen Rand hin etwas zu. Als Fossae synoviales bezeichnet man die bei Huftieren auf den Gelenkflächen auftretenden knorpelfreien, grubigen Vertiefungen (NICKEL et al. 1992). Die subchondrale Knochenschicht ist an diesen Stellen intakt. An pathologisch veränderten Strahlbeinen sind diese jedoch größer bzw. tieferragend, das umliegende Gewebe erscheint hyperämisiert und kleidet mitunter die Vertiefung aus. Nicht selten kommt es in diesem Bereich zu Verwachsungen mit der tiefen Beugesehne.

Unter dem hyalinen Gelenkknorpel weist der Knochen stets eine Grenzlamelle auf und ist in diesem Bereich leicht verdichtet. Abhängig vom Gelenk ist dieser Bereich als breite, dichte Knochenendplatte ausgebildet (UELTSCHI 1993).

Das subartikuläre Gewebe schließt den kalzifizierten Knorpel ein, der einen Übergang zwischen festem subchondralen Knochen und korrespondierendem Gelenkknorpel darstellt. Er kann noch weiter in die subchondrale Knochenplatte und trabekulären Knochen unterteilt werden (KAWCAK et al. 2001). Die subchondrale Knochenplatte separiert den kalzifizierten Knorpel vom Knochenmark (MÜLLER-GERBL 1998). Sie soll die auf das Gelenk wirkende Belastung absorbieren und sorgt für die Erhaltung der Gelenkform.

## **2.2 Bildgebende Verfahren**

Die in der Pferdemedizin langjährig etablierte Methode der röntgenologischen Darstellung der distalen Gliedmaße zur Detektion von Erkrankungen vor allem im Bereich des Hufgelenkes und der Hufrolle war lange Zeit die einzige bildgebende Modalität, um die Strukturen innerhalb der Hornkapsel darzustellen (DYSON 2011, RIJKENHUIZEN 2006). Mittels der Projektionsradiographie wird ein zweidimensionales Schattenbild eines dreidimensionalen Objektes erzeugt (TELLHELM 1988, HARTUNG 2006). Es bleibt daher nicht aus, dass sich vor allem im Bereich komplexer anatomischer Bereiche Strukturen aus unterschiedlichen Tiefen bzw. Ebenen des dargestellten Objektes überlagern (COLLINS 2004, DEL CHICA et al. 2008). NEUBERTH (1993) bezeichnet sie daher auch als Superpositionsbilder. UELTSCHI (2002) betont die Limitierung der röntgenologischen Aussagekraft bezüglich des tatsächlichen Istzustandes der Knochendichte und -struktur. Abgebildet wird zwar die augenblickliche Knochenarchitektur, Struktur- und Dichteveränderungen müssen allerdings erst einmal ein bestimmtes Ausmaß erreicht haben, bevor sie röntgenologisch detektiert werden können. HERTSCH (1992) betont zudem die Möglichkeit, dass röntgenologische Veränderungen sich einer bestehenden Lahmheit auch erst mit zeitlicher Verzögerung anschließen können. Seit der ersten Röntgenaufnahme durch Konrad Wilhelm Röntgen im Jahre 1895 hat sich die Projektionsradiographie stetig weiterentwickelt und sich als Standarddiagnostik im orthopädischen Bereich etabliert.

### **2.2.1 Digitales Röntgen**

Die Digitalisierung klinischer Daten gewinnt in medizinischen Bereichen immer mehr an Bedeutung (MARTINELLI 2001, POTEET 2008, WIDMER 2008). So hat der Beginn der digitalen Radiographie die radiologisch diagnostischen Möglichkeiten potentiell verstärkt, vor allem aufgrund verbesserter Bildqualität und Bilddarstellung (BINDEUS et al. 2002, DYSON 2011 und 2008). Damit ist das Maß der Identifizierung röntgenologischer Veränderungen mit klinischer Relevanz deutlich größer als in der Vergangenheit (DYSON 2011).

Die Vorteile des digitalen Röntgens ergeben sich zudem auch in der Verbesserung der diagnostischen Möglichkeiten durch digitale Nachbearbeitung (PUCHALSKI et al. 2007) mittels spezieller Softwareprogramme, der Mobilität der Systeme und somit optimalen Integration in den täglichen Praxisablauf, der Reproduzierbarkeit von akquirierten Daten, der Vereinfachung und Sicherheit der Archivierung von Patienteninformationen und letztendlich sogar in der Dosisreduktion pro Patient und Senkung effektiver Materialkosten (MÜLLER 2006). Des Weiteren kann auf den materiellen Aufwand wie Entwicklungsmaschine und Chemikalien verzichtet werden. Die Möglichkeit zur Teilnahme an der Teleradiologie oder Telemedizin ist ein weiterer wichtiger Vorteil des digitalen Formats (WIDMER 2008). Die Teleradiologie erhöht die Effizienz der Verwaltung von Arbeitsabläufen durch die Möglichkeit zu hochqualifizierter Patientenbetreuung auf schnellstmögliche Art und Weise (POTEET 2008).

Zum digitalen Röntgen gehören einerseits die Bildentstehung und andererseits die Bildbearbeitung und Bildarchivierung. Die Bildentstehung geschieht wie auf konventionelle Art und Weise mit einer Röntgenquelle, das fertige Röntgenbild erscheint auf einem Betrachtungsmonitor. Das weitere Verfahren unterscheidet sich nur in der Akquisition, nicht im Resultat, und ist systemabhängig (WIDMER 2008). Von großem Vorteil ist der direkte, rechnergesteuerte Transfer der digitalen Daten vom Scanner bzw. der Detektorplatte zum Befundungsmonitor. Hiermit wird die Integration in ein Bildarchivierungs- und Kommunikationssystem wesentlich erleichtert. Speicherung und Verarbeitung der Bildinformation erfolgen in digitalisierter Weise in PACS und DICOM (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER 1999, ROBERTSON und SAVERID 2008).

Grundsätzlich wird zwischen dem indirekt digitalen (Speicherfolientechnik, Computed Radiography CR, digitale Lumineszenzradiographie) und dem direkt digitalen (Flachdetektorsysteme, Direct Digital Radiography DR) Aufnahmesystem unterschieden (CHOTAS 1999).

#### **2.2.1.1 Indirektes System**

Das indirekte System wird auch als Speicherfoliensystem oder CR-System bezeichnet.

Es war 1983 der erste Versuch der Firma FUJI (Tokio, Japan), erfasste Aufnahmen direkt in ein digitalisiertes Format zu bringen (MATTOON 2004). Dieses Verfahren bedient sich in ähnlicher Weise des konventionellen, analogen Röntgens einer Röhren-Platten-Verbindung. Die Technik beruht aber nicht auf dem herkömmlichen Film-Folien-Prinzip, sondern auf einer luminiszenzqualifizierten photosensitiven Phosphor-Halbleiterfolie, welche mit einer komplexen Struktur aus fluoreszierenden Kristallen (Schwermetall-Halogenid-Verbindungen wie Europium-dotiertes Bariumhalogenid) beschichtet ist (ROWLANDS 2002).

Wird die Folie durch Röntgenstrahlung belichtet, so werden die Elektronen des Fluoreszenzstoffs angeregt und aus ihrem Grundzustand auf ein höheres Energieniveau angehoben. So wird die Röntgenstrahlenenergie in einem stabilen Zustand absorbiert (MARTINELLI 2001, TAKAHASHI et al. 1984, GEORGI und KOERT 2005). ROBERTS (2001) bezeichnete das entstehende Bild als latent. Die belichtete Platte mit dem latenten im Phosphor gespeicherten Bild wird anschließend in einen Scanner eingebracht, der mittels Helium-Neon-Laserstrahl die Matrix der Speicherfolie abtastet (MÜLLER 2000, LAUBENBERGER und LAUBENBERGER 1999, WIDMER 2008). Durch die erneute Energiezufuhr des Lasers fallen die Elektronen zurück auf ihr Ausgangsniveau und geben dabei die gespeicherte Energie in Form sichtbaren Lichts frei. Anschließend wird das entstandene energiereiche, fluoreszierende Licht in einem Photomultiplier gemessen und die Daten verstärkt. Die verschiedenen Lichtintensitäten werden in korrespondierende elektrische Signale konvertiert, logarithmiert und anschließend quantisiert, d. h. von analoger in eine digitale Bildinformation gewandelt (MARTINELLI 2001, MÜLLER 2000, ROBERTS 2001). Im nächsten Schritt werden die Daten auf einen Bildrechner übertragen und stehen folgend zur Bearbeitung zur Verfügung (DOEHRING und URBACH 1991). Da nicht die gesamte im Phosphor gespeicherte Energie verbraucht wird, muss anschließend noch die auf der Folie gespeicherte Restenergie durch direkte Lichteinstrahlung gelöscht werden. So steht dann die Folie für neue Aufnahmen zur Verfügung.

#### **2.2.1.2 Direktes System**

Das direkte System ist in seiner Entwicklung noch fortschrittlicher. Es wird auch als Flachdetektorensystem bezeichnet. Der Zwischenschritt der Speicherplatte und ihres Auslesens im Scanner wird hier umgangen. Dies ist wichtig, da bei jedem Umwandlungsprozess die Bildqualität reduziert wird. Die Bildakquisition ist zudem zeitsparend.

Bei den Detektoren handelt sich um „großflächige Halbleitermatrixelemente mit hoher Empfindlichkeit für Röntgenstrahlung“ (STROTZER et al. 2002) mit integriertem Auslese-Mechanismus (WIDMER 2008). Grundlage jedes digitalen Flachdetektors bilden eine Pixelmatrix sowie eine röntgenstrahlempfindliche Schicht (HARTUNG 2010). Es existieren zwei verschiedene Flachdetektoren. Sie unterscheiden sich lediglich in der Art ihrer Konversion. Der Auslesevorgang ist bei beiden Detektoren im Gegensatz zum CR-System direkt.

Entweder wird die Röntgenstrahlung im Detektor direkt (elektro-direkt) in elektrische Ladung umgewandelt (Halbleitersystem mit einer Matrix aus amorphem Silizium) oder aber indirekt (opto-direkt) d. h. phasenweise in einer Szintillatorschicht über eine Zwischenumwandlung der Strahlen in Lichtenergie erst anschließend über eine Photodiode (bestehend aus amorphem Selen) in elektrische Signale transformiert (GEORGI und KOERT 2005). Für detaillierte physikalische Mechanismen wird auf die entsprechende Literatur verwiesen (WIDMER 2008).

In beiden Fällen erfolgt dann eine Verstärkung der Rohdaten und eine Analog-digital-Wandlung sowie digitale Nachbearbeitung (STROTZER et al. 1999). Diese Art der Technik führt letztendlich zu einer noch akkurateren Bildpräsentation sowie einem kleineren Signal-Rausch-Verhältnis und somit weniger Störungen der Bildqualität. Weitere Vorteile ergeben sich in der Reduktion der effektiven Zeit pro Aufnahme sowie der Strahlendosis (MATTOON

2006). Es erhöht sich das diagnostische Potential und minimiert sich die Zahl der sonst notwendigen Wiederholungen pro Aufnahme (MARTINELLI 2001).

### **2.2.1.3 Datenverarbeitung**

Die weitere Datenverarbeitung erfolgt automatisch in vollständig digitaler Weise mittels der integrierten Softwareprogramme.

Der erste Schritt wird als „Preprocessing“ bezeichnet. Defekte und Mängel werden berechnet und die Rohdaten entsprechend verschiedener Algorithmen bearbeitet und justiert (LO und PUCHALSKI 2008). Die Art und Weise des Preprocessings hängt dabei von den verwendeten Detektoren ab.

Der nächste Schritt, der als „Processing“ bezeichnet wird, ist die Konvertierung der Rohdaten in ein beurteilbares, optimales Röntgenbild. Ziel ist es, den gesamten Objektbereich darzustellen, den lokalen Kontrast zu verstärken, die räumliche Auflösung des digitalen Systems zu verbessern und das Bildrauschen zu minimieren (FLYNN 2003, FREEDMAN und ARTZ 1997).

Eine Besonderheit aller Softwareprogramme ist die Verbesserung und Verstärkung des Bildkontrastes mittels so genannter LUTs (look up table). Die verschiedenen anatomischen Regionen haben verschiedene LUTs, d. h., in Tabellen werden voreingestellte Pixelwerte statisch definiert und können dann mit den Pixelwerten der Rohdaten verglichen werden. Der Kontrast wird dabei durch die Erhöhung der Differenz zwischen verschiedenen anatomischen Strukturen verstärkt. Dies verdeutlicht dem Untersucher die Grauwerte einzelner Strukturen (WIDMER 2008). Die LUT-Applikation zählt nicht zu den mathematischen Veränderungen der Rohdaten, vielmehr dient sie als Interpretationshilfe des Anwenders und ist optional nutzbar.

Beim „Postprocessing“ wird das finale Bild an den Befundungsmonitor gesendet. Hier können vom Anwender der Bildkontrast und die Helligkeit durch die Fenstereinstellungen weiter nivelliert werden. Ein weites Fenster führt demnach zu einem geringeren Kontrast, ein engeres Fenster entsprechend zu einem höheren Kontrast. Weitere Manipulationen am Rohbild betreffen die Schärfe, Konturverstärkung oder Glättung. Im Weiteren wird das Bild im Originalformat gespeichert (LO und PUCHALSKI 2008).

### **2.2.1.4 Datenspeicherung**

Die American Veterinary Medical Association (AVMA) konstatiert, „... dass veterinärmedizinische Datensätze bzw. Akten ein integraler Bestandteil der veterinärmedizinischen Behandlung sind. Sie haben den etablierten Standards des Staates und des Bundesgesetzes zu entsprechen.“ (WALLACK 2008).

In Deutschland ist die Pflicht zur Dokumentation entsprechend in den jeweiligen Heilberufsgesetzen der Bundesländer geregelt und in der Musterberufsordnung der Bundestierärztekammer enthalten. Die Dokumentationspflicht dient nicht nur der eigenen Information, sondern auch der Befund- und Beweissicherung sowie der Transparenz der Daten (SELIG 2010). Der Effizienz der beschriebenen digitalen Speicherkapazitäten im Gegensatz zum analogen System steht die Konformitäts- und Sicherheitsfrage gegenüber.

Die ACR (American College of Radiology) und die NEMA (National Electrical Manufacturers Association) veröffentlichten 1993 in Zusammenarbeit mit der ISO (International Organization for Standardization) das Protokoll des ersten DICOM-Standards (Digital Imaging and Communications in Medicine) zur Vereinheitlichung des digitalen Datentransfers zwischen verschiedenen unabhängigen Institutionen. DICOM ist das universale Dateiformat medizinischer Bildgebung (ROBERTSON und SAVERAID 2008). Der im amerikanischen Raum auch als „interconnectivity“ bezeichnete Bereich beschreibt die assoziierende Infrastruktur und kommunikative Verbindung unterschiedlicher Unternehmen und Hersteller für medizinisch digitale Bildgebungsmodalitäten (WRIGHT et al. 2008). Der Anwender wird befähigt, auf freiwilliger Übereinstimmungsgrundlage verschiedene Hard- und/oder Software zu kombinieren und mit anderen Anwendern, Institutionen und Geräten innerhalb des Kommunikationssystems zu kooperieren.

Als Standard zur Konsolidierung von Daten und diesbezüglicher Informationen bietet DICOM 2009 dem Anwender die Möglichkeit, gespeicherte Daten als normierte Speicherformate zu verwalten und sie mittels Kommunikationsprotokollen zwischen den verschiedenen medizinischen bildgebenden und bildverarbeitenden Herstellersystemen auszutauschen (DICOM 2009, MILDENBERGER et al. 2005). Der seit 2009 bestehende DICOM 3.0 Standard ist damit ein wichtiger Bestandteil der Teleradiologie. Eben auch aus forensischer Sicht ist es angeraten, stets DICOM-Datei Formate zu benutzen oder die Bilder gegebenenfalls in DICOM zu konvertieren (POTEET 2008). Dem Tierarzt wird es ermöglicht die angefertigten Bilder direkt zu einem Gutachter seiner Wahl zu senden, unabhängig von der Herstellermarke und dem Verkäufer der Bildgebungsmodalität. Zudem stellt es die Basis für die digitale Bildarchivierung und Kommunikation mittels PACS (Picture Archiving and Communication System) in medizinischen Einrichtungen dar. Das PACS-System ist ein Anbieter für Technologie, die der Generierung, der Verteilung und der Speicherung klinischer, digitaler Daten Beitrag leistet (ROBERTSON und SAVERAID 2008). Integrale Bestandteile des PACS sind eine digitale Bildgebungsmodalität (CT, MRT, Szintigraphie), ein Netzwerk mit angemessenem Spektrum, eine Speichermodalität, eine diagnostische Workstation als Befundungsgrundlage, eine Archivierungssoftware und gegebenenfalls ein Anschluss an das HIS (Hospital Information System), das Krankenhaus eigene EDV- System, oder RIS (Radiology Information System), das EDV-System der Radiologie, welches zur Dokumentation und Verwaltung medizinischer und administrativer Daten benutzt wird.

#### **2.2.1.5 Computertomographie**

Als röntgenbasiertes Schnittbildverfahren kommt der Computertomographie (altgriechisch tome: Schnitt und graphein: schreiben, CT) in der Orthopädie eine besondere Rolle zu. Sie gehört mittlerweile zu den wichtigsten Verfahren der Bildgebung und unterliegt einem stetigen Fortschritt (GALANSKI und PROKOP 1998), der dazu beigetragen hat, dass sich die CT mit einiger Verzögerung dennoch auch in der Veterinärmedizin etabliert hat (BARBEE 1996, ROSENSTEIN 1996).

Mittels der axialen, tomographischen und somit überlagerungsfreien Darstellung vor allem im Bereich komplexer anatomischer Strukturen können gegenüber der konventionellen Projektionsradiographie aussagekräftigere Diagnosen gestellt werden. Erhebliche diagnostische

Vorteile ergeben sich auch durch die 1998 erstmalige Vorstellung der Mehrschichtspiraltechnik (Multislicetechnique, MSCT) oder auch Multidetektor-CT/Mehrzeilen-CT (PARSCH und LUDWIG 2006, HU et al. 2000). Mittels der MSCT gelang es erstmals in rascher Akquisition größere Volumina mit isotroper Auflösung im Submillimeterbereich zu scannen (BRÜNING et al. 2008, KALENDER et al. 2006, FLOHR et al. 2004b). Nach der Einführung der 16-Zeiler mit einer mittleren Scandauer von weniger als 15 Sekunden haben sich wesentliche diagnostische Fortschritte vor allem durch eine weitere Verbesserung der räumlichen und zeitlichen Auflösung ergeben (FLOHR et al. 2002a, FLOHR et al. 2002b, FLOHR et al. 2004a).

Nach den Anfängen der Multidetektortechnik sind mittlerweile vor allem 16-, 32- und 64-Zeiler im Einsatz. Auch über den Einsatz von 320-Zeilern ist bereits berichtet worden (LINSENMAIER und REISER 2009).

Der in dieser Arbeit verwendete CT ist ein 16-Zeiler der Firma Toshiba. Mit einem 16-Zeilen-CT-Scanner sind bis zu 40fach schnellere Untersuchungszeiten gegenüber der Einzeiler-CT/SingleSlice-CT (SSCT) möglich (OHNSORGE et al. 1999).

#### **2.2.1.6 Grundprinzip der CT**

Bei der Computertomographie handelt es sich um ein Bildgebungsverfahren zur Erzeugung von digitalisierten Schnittbildern, mit denen Teilbereiche des Körpers frei von sich überlagernden Strukturen dargestellt werden können (BRÜHSCHWEIN 2010, TIDWELL 1999). Sie ermöglicht die Darstellung von Knochen, Weichteilen und Gefäßen.

Zu den baulichen Bestandteilen einer CT-Anlage gehören eine Gantry, bestehend aus Röntgenröhre mit entsprechenden Kollimatorblenden und Detektor, sowie Bildrechner, Steuerrechner, Generator und mobiler Patientenliege (HOFER 2010). Das Funktionsprinzip des Detektors ist analog dem Festkörperdetektor eines Flachdetektorsystems in der digitalen Projektionsradiographie (BRÜNING et al. 2008).

Die Basis der CT bildet das Abtastprinzip. Das Untersuchungsobjekt wird aus verschiedenen Richtungen durch einen kollimierten, fächerförmigen Röntgenstrahl abgetastet und die verbleibende Strahlung nach der Schwächung der Röntgenstrahlung durch die unterschiedlichen Dichten des zu untersuchenden Objektes von Detektoren erfasst. Eine rechnergestützte mathematische Bildberechnung rekonstruiert die lokalen Schwächungsintegrale/-profile an jedem Punkt in der Untersuchungsschicht. Das anschließend akquirierte Bild stellt die in Graustufen kodierte Schwächungswerte dar, die auch CT-Werte genannt werden. Sie ergeben sich aus der durchschnittlichen relativen Röntgendichte der entsprechenden Volumeneinheit und werden als Hounsfield-Einheiten bezeichnet (HOUNSFIELD 1973, GALANSKI und PROKOP 1998). Ihre Größe ist dimensionslos.

#### **2.2.1.7 Spiral-CT und Multidetektor-CT**

Im Gegensatz zu konventionellen CT-Geräten, bei denen die Abtastung einer Volumeneinheit sequentiell, d. h. Schicht für Schicht, erfolgt, wird bei der Spiral-CT das Untersuchungsobjekt über einen stetigen Tischvorschub in Längsrichtung durch die Scanebene bewegt und somit über eine helikale Abtastung eine kontinuierliche Erfassung der Untersuchungsregion bewirkt. Vorteile ergeben sich aus der Möglichkeit zur anschließenden dreidimensionalen

Rekonstruktion (FLOHR 2004a, SCHALLER et al. 1998) und verkürzten Gesamtscanzeit durch kontinuierliche Volumenerfassung, welche sich in der Veterinärmedizin vor allem günstig auf die verkürzte Allgemeinanästhesiedauer auswirkt.

Einen weiteren technischen Fortschritt erfüllt das Prinzip der Multidetektortechnik, welches sich einer simultanen Akquisition mehrerer Volumeneinheiten mittels multipler, paralleler Detektorzeilen bedient, die zeitgleich die Strahlungsschwächung messen und Rohdaten erfassen (SCHALLER et al. 1998). Die Detektoren bestehen hierbei aus mehreren Detektorreihen. Bei den Mehrzeilen-Scannern rotieren sowohl Röhre als auch Detektor (RUBIN et al. 1999). Vorteile ergeben sich wieder aus verkürzten Gesamtscanzeiten sowie einer Verringerung der Schichtdicke und Erhöhung der Scanlänge. Rekonstruktionsmöglichkeiten werden durch die verbesserte axiale Auflösung erweitert. Unterschieden werden Mehrzeiler-Computertomographen verschiedener Generationen. Entscheidend ist hier die Anordnung der Einheit von Röhre und Detektor sowie das Rotationsprinzip (BUZUG 2002, KALENDER 2006, OTTESEN und MOE 1998).

Im Gegensatz zu Geräten der 1. und 2. Generation, bei denen die Röhre translatorische Bewegungen um den Detektor ausführen muss, wird bei den heute üblichen Rotate-Rotate-Geräten der 3. Generation von der sich um den Patienten drehenden Röhre ein Strahlenfächer ausgesandt, der von dem sich simultan dazu bewegendem Kreissegment der gegenüberliegenden Detektorzeilen aufgenommen wird und das gesamte Objekt durchleuchtet. Bei Geräten weiterer Generationen bewegt sich nur noch die Röhre um einen stationären Detektorring (4. Generation), während es sich bei der 5. Generation um Elektronenstrahlscanner handelt (KALENDER 2006, MÖLLER 2009). Beide Geräte haben sich in der heutigen Diagnostik allerdings nicht durchgesetzt (TIDWELL 1999).

Wichtig ist zu verstehen, dass Multidetektor-CT nicht zwangsläufig Spiral-CT bedeutet. Konsekutive Schichtakquisition ist auch mit multiplen Detektoren möglich (GALANSKI und PROKOP 1998). Hierfür bestehen allerdings wenige Einsatzgebiete in der Veterinärmedizin.

In Bezug auf die Detektortechnologie unterscheidet man je nach Konstruktionsprinzip zwischen dem „Adaptive Array“-Detektor und dem „Fixed Array“-Detektor. Derzeitig auf dem Markt befindliche Detektorsysteme der 16-Zeiler bedienen sich der adaptiven Anordnung, bei der die Detektorreihen in der Längsrichtung verschieden groß sind. Bei der fixierten Anordnung sind die Detektorelemente in der Längsachse gleich groß, wobei zur Variation der Schichtdicke mehrere Elemente wahlweise durch Einstellung der Schichtkollimation und der Schichtdicke kombiniert werden können (BRÜNING et al. 2008).

Auch TELLHELM (1993) betonte in seinen Ausführungen eine sicherere Diagnostik durch verbesserte und fortschrittliche Gerätetechnologie. Die allgemeine technische Weiterentwicklung der Computertomographen bezieht sich vor allem auf die Geräteleistung, welche sich in verkürzter Scandauer und damit kürzeren Narkosezeiten und weniger Bewegungsartefakten, längeren Untersuchungsabschnitten und Verringerung der Schichtdicke darstellt. Es wird eine höhere Bildqualität durch bessere Auflösung und feinere Bildmatrix sowie fortschrittliche Softwareprogramme gewährleistet (BARBEE und ALLEN 1986, TIETJE 1995, BRÜNING et al. 2008).

Allerdings muss ein Kompromiss geschaffen werden zwischen noch auswertbarer Datenmenge, dünnen Schichten und dennoch geringem Bildrauschen, d. h. Störsignalen.

Diese Störsignale haben keinen Bezug zum eigentlichen Bildinhalt. Es sind Signale, die zufällig verursacht wurden und damit die gemessene Strahlenintensität verfälschen. Eine geringe Elektrizitätsmenge [mAs] (geringes Röhrenstromscazeit-Produkt), sehr dichte Objekte sowie eine geringe Schichtdicke können das Bildrauschen erhöhen. Um dann letztendlich die multiplanaren Rekonstruktionen (MPRs) in allen Ebenen des Volumendatensatzes zu erstellen, benötigt man Rohdaten aus überlappenden axialen Bildern (FLOHR 2004a). Die multiplanare Rekonstruktion setzt einen Bildstapel zu einem räumlichen Objekt zusammen, so dass das Objekt in beliebiger Ausrichtung Schicht für Schicht durchlaufen werden kann. Die MPRs tragen deutlich zu noch exakterer Diagnosestellung bei (GALANSKI und PROKOP 1998).

#### **2.2.1.8 Entstehung des Bildes und Akquisition**

Das Schnittbild des durchstrahlten Gewebes wird per Computer aus den verschiedenen Schwächungsprofilen errechnet, die sich aus den unterschiedlich dichten Geweben und somit einzelnen Schwächungswerten des Untersuchungsobjektes ergeben. Die Bildrekonstruktion aus den Rohdaten, welche sich aus den vielen hundert bis tausend Einzelprojektionen einer 360°-Rotation ergeben, erfolgt über ein mathematisches Rechenverfahren, die so genannte Faltung bzw. Filterung (BRÜNING et al. 2008, TÜRK et al. 2008). Der dafür benutzte mathematische Weg des Rekonstruktionsalgorithmus, der Faltungskern, kann dabei weich oder hochauflösend sein und definiert die Ortsauflösung und das Bildrauschen (HOFER 2010). Hochauflösende Filter verbessern die Ortsauflösung, erhöhen aber auch das Bildrauschen. Glättende Filter reduzieren hingegen sowohl die Ortsauflösung, d. h. Detailerkennbarkeit, als auch das Bildrauschen (Störsignale).

Das aus den Absorptionswerten einer jeden Volumeneinheit berechnete Gesamtbild besteht aus einer quadratischen Bildmatrix, die zwischen 256x256 und 1024x1024 Bildpunkte, so genannte Pixel, enthält (SCHNEIDER und ECKELT 2006). Jedes Pixel entspricht durch die Festlegung einer definierten Schichtdicke, einer speziellen Matrix und des gewählten Bildausschnittes einer kleinen Volumeneinheit, dem so genannten Voxel (SCHÄFER 2001). Die Ortsauflösung ist umso feiner, je größer die Bildmatrix ist (BARBEE et al. 1987).

Zur abschließenden Bildrekonstruktion gelangen dann nur die Rohdaten eines vorher festgelegten Bildausschnittes definierter Größe (Field of View, FOV) des gesamten Objektquerschnitts.

Die normierte Einheit der erhaltenen Helligkeits- bzw. Dichtewerte ist die Hounsfield-Einheit HE. Die resultierenden Grauwerte werden diskreten Zahlen zugeordnet und in Relation zu den Referenzwerten der Absorption von Wasser (0 HE) und Luft (-1000 HE) gesetzt. Damit führen Gewebe mit einer geringen Dichte zu einer geringen Abschwächung der Röntgenstrahlung und erscheinen im Bild dunkler (hypodens), während dichtere Gewebe eine größere Strahlenabsorption aufweisen und somit heller (hyperdens) dargestellt werden. Die CT-Werte liegen alle auf einer Skala von +3000 HE (Metall) bis -1000 HE (Luft). Knochengewebe besitzt je nach Dichte Werte von +500 bis +1500 HE (DE BUHR 2002). Weichteilgewebe befindet sich auf der Hounsfield-Skala im Bereich von ca. +50 HE und Fettgewebe von ca. -90 HE. Die CT-Zahl ist hierbei der mit 100 multiplizierte lineare Schwächungskoeffizient  $\mu$ . Da das menschliche Auge nur ungefähr 20-50 verschiedene Graustufen wahrnehmen kann



und folglich nicht jeden Dichteunterschied verarbeitet, werden nicht alle Stufen und somit Absorptionswerte auf den Bereich der relevanten Graustufen-Skala verteilt (HATCHCOCK und STICKLE 1993, HOFER 2010).

Es wird ein dem der Leistung des menschlichen Auges entsprechender Bereich von 10-20 Graustufen als so genanntes Fenster festgelegt (MORNEBURG 1995). Schwarz erscheinen die Dichtewerte unterhalb des Fensters, weiß oberhalb des Fensters (OTTESEN und MOE 1998, TÜRK 2008). Dieser Ausschnitt (Fensterbreite) dient der Kontrastierung der Strukturen. Die Fensterbreite (Window Width, WW) legt somit den Bildkontrast und die Fensterlage (Level) die Helligkeit fest. Ein demnach enges Fenster besitzt eine geringe Fensterbreite und führt zu einem guten Gewebekontrast, besonders bei Fragestellungen im Bereich des Weichteilgewebes, wohingegen ein weiter gewähltes Fenster zu einer Verminderung des Kontrastes bei dichteabhängig sehr unterschiedlichen Strukturen führt. Knochenfenstereinstellungen offerieren somit eine gute Übersichtlichkeit zu Lasten der Detailgenauigkeit (BARBEE und ALLEN 1986). Die Fensterlage repräsentiert den gemittelten Bereich für den speziellen Dichtebereich des zu untersuchenden Gewebes. Je nach Wahl einer höheren oder niedrigeren Fenstermittellage kann ein für eine Struktur spezieller Dichtewert eingestellt werden (GALANSKI und PROKOP 1998, STICKLE und HATCHCOCK 1993). Die Fensterlage wird nahe dem Dichtewert des zu untersuchenden Bereiches eingestellt.

Bei speziellen Dichtemessungen kann der Untersucher die „Region of interest“ (ROI) frei wählen. Sie dient der Mittelung von Dichteschwankungen im zu differenzierenden Gewebe (WEGENER 1992). Pathologische Prozesse können im Vergleich mit der Dichtemessung anatomisch gesunder Gewebe gut differenziert werden (NEUBERTH 1993, TIPOLD und TIPOLD 1991).

Um aus den überlappenden axialen Datensätzen Sekundärrekonstruktionen von Schnitten in beliebigen Richtungen bzw. allen Ebenen (MPRs) oder 3D-Oberflächendarstellungen zu erhalten, werden anschließend verschiedene Softwareprogramme benutzt (BROOKS und DE CHIRO 1975, CHEUNG und THOMPSON 1993).

#### **2.2.1.9 Akquisitionsparameter der Multidetektor-CT**

Die zu variierenden Untersuchungsparameter der MSCT ähneln denen der konventionellen Spiral-CT. Im Folgenden sollen vor allem Schichtkollimation und Schichtdicke, Pitchfaktor, Rotationszeit, Scanlänge und -dauer sowie Dosisparameter und Field of View (FOV) erläutert werden.

Durch die divergierende Strahlung kommt es wie bei der Projektionsradiographie dazu, dass bei Anlegung des Strahlenfächers nicht nur planparallele Schichten erfasst werden, sondern auch angrenzende Objektstrukturen mit ihrer unterschiedlichen Dichte zum Informationsgehalt beitragen. Um diese Tatsache zu verdeutlichen, wird ein Schichtempfindlichkeitsprofil angegeben. Es definiert, wie viel ein einzelner Punkt zum gesamten Bild beiträgt. Idealerweise hätte dieses Profil die Form eines Rechtecks. Da aber durch den helikalen Charakter eben auch immer angrenzende, primär nicht relevante Strukturen zum Bild beitragen, ähnelt das Schichtprofil bei abnehmender Schichtdicke immer mehr einer Glockenform. Kontrastreiche Strukturen können somit störende Partialvolumeneffekte hervorrufen, die das zu untersuchende Gewebe überlagern können (KALENDER 2006).

Bei der konventionellen CT entspricht die Breite des Schichtprofils, also das Maß, um wie viel ein Objektpunkt in Abhängigkeit von seinem Abstand zur Mitte der CT-Schicht zum Bild beiträgt, der Schichtkollimation und wird somit als nominelle Schichtdicke bezeichnet.

Bei der Spiral-CT, bei der das Schichtprofil glockenförmig verläuft, resultiert dann eine effektive Schichtdicke, ein Maß für die Auflösung in der z-Achse, d. h. Detailerkennbarkeit entlang der Patientenachse.

Die Schichtkollimation [mm] entspricht der Breite des eingeblendeten Strahlenfächers, der durch die röhrenseitige Einblendung festgelegt und durch die Anzahl der aktiven Detektorelemente dividiert wird. Bei der MSCT definiert die Detektorkonfiguration die verfügbare Schichtkollimation (HOFER 2010). Dabei gilt: je geringer die Kollimation, desto höher die Auflösung entlang der Patientenachse. Das Bildrauschen vergrößert sich dabei.

Die Schichtdicke ergibt sich aus der effektiven Schichtweite der rekonstruierenden Schicht. Bei der SSCT hängt die effektive Schichtdicke vom Tischvorschub pro Röhrenumdrehung und dem gewählten Rekonstruktionsalgorithmus ab, während bei der MSCT die rekonstruierte Schichtdicke und die Schichtkollimation unabhängig voneinander und vom Untersucher frei wählbar sind, wobei die effektive Schichtdicke dabei nur gleich oder größer sein kann als die Schichtkollimation. So können bei dünnschichtiger Kollimation die MPRs aus dickeren Schichten rekonstruiert werden. Eine hohe Ortsauflösung kann dabei trotz Reduktion des Bildrauschens beibehalten werden.

Der Tischvorschub [mm] definiert die Anzahl der Projektionen, die pro Schicht bei einer 360°-Rotation zur Verfügung stehen, d. h. Tischgeschwindigkeit pro Rotationszeit.

Von daher sollte das sogenannte Rekonstruktionsinkrement (RI), das den Abstand angibt, in dem die Schichten rekonstruiert werden sollen, adäquat an den Tischvorschub angepasst werden, um die Bildqualität zu optimieren (PROKOP 2001, PROKOP 2002).

Im Nachhinein können aus den akquirierten Daten verschieden dicke Schichten rekonstruiert werden. Dünne Schichten sind dort erwünscht, wo ein kleiner Bildausschnitt von Interesse ist oder sekundäre Rekonstruktionen angefertigt werden sollen (LIPSON 2006).

Ein weiteres Charakteristikum von Spiralaufnahmen ist der sogenannte Pitch. Er berechnet sich in der SSCT aus dem Verhältnis des Tischvorschubes pro Rotation zur Gesamtbreite des kollimierten Strahls. Dieser Parameter zeigt an, ob Daten mit Lücken ( $p > 1$ ) oder mit Überlappungen ( $p < 1$ ) in der z-Achse akquiriert werden (BRÜNING et al. 2008). Bei der MSCT hingegen ist der Pitch nicht eindeutig festgelegt. Bei einigen älteren Systemen sowie den TOSHIBA-Geräten beziehen sich die Angaben auf das Verhältnis von Tischvorschub pro Röhrenumdrehung zu Kollimation der Einzelschicht (Volumen-Pitch). Hierbei steigt der Pitchfaktor mit Anzahl der Detektorzeilen. Bei einem 16-Zeiler entspricht ein Pitch von  $p = 1,5$  einem Volumen-Pitch von 18. Generell gilt, je größer der Pitchfaktor, desto kürzer die Scanzeit. Bei neueren Systemen wird er als Tischvorschub pro Rotation im Verhältnis zur Gesamtkollimation definiert, d. h. bezogen auf die gesamte aktivierte Detektorbreite multipliziert mit der Kollimation der Einzelschicht (GALANSKI und PROKOP 1998). Eine Variation im Pitchfaktor von 0 bis 2 ist möglich, ohne dass es zu Abtastlücken oder Bewegungsartefakten kommt.

Eine Erhöhung des Pitch-Faktors kann sowohl zu einer Vergrößerung als auch zu einer Verkleinerung der effektiven Schichtdicke führen. Erhöhung des Tischvorschubes bei konstanter

Schichtkollimation erhöht die effektive Schichtdicke, konstanter Tischvorschub bei Verringerung der Schichtkollimation erniedrigt die effektive Schichtdicke.

Die Rotationsgeschwindigkeit definiert die Zeitspanne einer vollständigen Rotation um das Untersuchungsobjekt. Die 64-Zeiler erreichen heute Rotationszeiten von ca. 0,33 Sekunden. Die Scanzeit wird hierdurch deutlich verkürzt, was wiederum positiv mit der Möglichkeit zu kürzeren Allgemeinanästhesien korreliert sowie mit einer verringerten Strahlendosis und optimierter Bildqualität (BRÜNING et al. 2008, LIPSON 2006).

Die Scanlänge definiert die Dimension des zu untersuchenden Bereiches in der Patientenachse (z-Achse). Die Scandauer gibt die Scanlänge im Verhältnis zur Tischgeschwindigkeit an. Die Scandauer verkleinert sich proportional mit der Rotationszeit und umgekehrt proportional mit dem Pitchfaktor und der gesamten aktivierten Detektorbreite (GALANSKI und PROKOP 1998). Je kürzer die Scandauer, desto geringer die Möglichkeit für Bewegungsartefakte.

Dosisparameter werden vergleichend der Projektionsradiographie in Röhrenspannung [kV] und Röhrenstrom-Zeit-Produkt [mAs] sowie Scandauer angegeben.

Es gilt, je höher die Röhrenspannung, umso besser die Durchdringung des zu untersuchenden Gewebes. Die Leistung der Röntgenröhre steigt, die Dosis erhöht sich. Die Röntgenschwächung des Gewebes nimmt ab. Durch eine Reduktion der Röhrenspannung erhöht sich das Bildrauschen aufgrund einer höheren Röntgenstrahlschwächung (GALANSKI und PROKOP 1998). Je höher der Röhrenstrom, desto niedriger das Bildrauschen, aber auch desto höher die Patienten- und Detektordosis (BRETTSCHEIDER 2001, HOFER 2010).

Vor jeder Untersuchung wird ein Scanogramm, ein Planungstopogramm gefahren. Dies ermöglicht die Überprüfung der Einstellungen des Gerätes und die Festlegung des in axialer Ebene frei wählbaren Bildausschnitts, dem Field of View (FOV). Je kleiner das FOV, desto besser differenzierbar sind die unterschiedlichen Gewebestrukturen durch Verringerung des Partialvolumeneffektes (TIDWELL 1999).

Um sekundär einen homogenen, überlappenden, dreidimensionalen Rohdatensatz zu erhalten, sollte stets eine dünne Kollimation eingestellt werden. So lassen sich auch Partialvolumeneffekte reduzieren. Partialvolumeneffekte kommen zu Stande, wenn Organstrukturen unterschiedlicher Dichte nur partiell in einer Schichtebene liegen und die Mittelung der Dichtewerte einer Struktur durch den Computer nicht mit dem realen Dichteprofil des Gewebes übereinstimmt (CLAUSSEN und LOCHNER 1983, HOFER 2010). Große Partialvolumeneffekte resultieren dort, wo größere Strukturen in axialen Schichten nicht senkrecht oder Strukturen parallel geschnitten werden.

Diagnostische Fehlinterpretationen ergeben sich vor allem dort, wo kontrastreiches Gewebe oder Gewebegrenzflächen dargestellt werden (HATHCOCK und STICKLE 1993). So sollte bei kontrastreichen Gewebeabschnitten die Schichtdicke möglichst klein gewählt werden (CLAUSSEN und LOCHNER 1983, TIETJE et al. 1996).

#### **2.2.1.10 Bildrekonstruktionsparameter**

Vor der Bildrekonstruktion ist noch eine Interpolation oder mathematische Faltung nötig. Dies beruht auf der Tatsache, dass es durch den kontinuierlichen Tischvorschub während einer 360°-Rotation zu Bewegungsartefakten kommen kann. Die erste und letzte Projektion einer

360°-Rotation liefern unter Umständen unterschiedliche Daten. Somit werden fehlende Rohdaten interpoliert, um einen kompletten Rohdatensatz einer Ebene zu erhalten (HOFER 2010, LIPSON 2006). Die Distanz der zu interpolierenden Daten beträgt je nach System 360° oder 180°. Dabei wird zwischen verschiedenen Projektionen interpoliert, um der gewünschten Position am nächsten zu kommen. Hierzu bedient man sich verschiedener Rekonstruktionsalgorithmen. Bei Einzeilern wird meist ein linearer 180°-Algorithmus (180° LI) benutzt (FLOHR et al. 2005).

Bei den 16- oder Mehrzeilern werden aufgrund der auftretenden Kegelstrahlartefakte andere Rekonstruktionsalgorithmen benutzt (TAGUCHI und ARADATE 1998). Diese werden als 3-D-Rückprojektionstechnik beschrieben. Für die detaillierte Funktionsweise der mathematischen Algorithmen wird auf die entsprechende Fachliteratur verwiesen (BRÜNING et al. 2008).

Die nachträgliche Bildverarbeitung wird durch verschiedene Softwareprogramme ermöglicht. Eine der wichtigsten Funktionen ist neben quantitativen Dichtemessungen die Rekonstruktion axialer CT-Schnitte (BARBEE und ALLEN 1990). Diagnostische Fortschritte ergeben sich durch die sekundären Rekonstruktionsverfahren wie multiplanare Rekonstruktionen, Oberflächendarstellungen und „Volumen rendering“ (VRT).

#### **2.2.1.11 Rekonstruktionsverfahren**

Neben der Betrachtung axialer Ebenen haben sich für unterschiedliche Fragestellungen verschiedene sekundäre Rekonstruktionsverfahren etabliert. Sie ermöglichen die Darstellung der Befunde in anderer Form.

Auf dem Vormarsch der Computer-Software und graphischen Bildverarbeitungstechniken können 3D-Objekte komplexer Topologie sekundär anhand seriell akquirierter 2D-Bildebenen erstellt werden (CHEUNG und THOMPSON 1993). Basis aller zwei- oder dreidimensionalen Bildverarbeitungssysteme ist die Stapelung einzelner akquirierter axialer Schichten zu einem Volumendatensatz. Voraussetzung ist hierbei eine optimale Auflösung in der Patientenlängsachse (z-Achse). Für eine optimale Bildqualität sind überlappende Bilder und istrope Voxel elementar. Das Voxel stellt dabei die Einheit der Volumenelemente dar. Die Voxelhöhe wird hierbei durch den Schichtabstand definiert. Die nutzbare Vielseitigkeit der 3D-Rekonstruktionstechnik hängt von speziellen Hard- und Softwareprogrammen ab. Manche Systeme können die Anatomie oder Pathologie lediglich visualisieren und gegebenenfalls quantitativ evaluieren, während andere Systeme dem Untersucher die Möglichkeit geben, eine Art virtuelle Animation des zu interessierenden Bereiches vorzunehmen (CHEUNG und THOMPSON 1993).

##### **2.2.1.11.1 Multiplanare Rekonstruktionen (MPRs)**

MPRs sind sekundäre 2D-Rekonstruktionen von Schnitten in beliebiger Orientierung aus dem axialen Datensatz, um achsenparallele Längs- und Querschnitte zu generieren (GALANSKI und PROKOP 1998). Dabei bilden die gestapelten Einzelschichten des Rohdatensatz die Basis, d. h., zu den axialen Schichten können zusätzliche Rekonstruktionen sowohl in der sagittalen als auch in der coronaren Ebene erstellt werden (PARSCH und LUD-

WIG 2006). Ein zu Gunsten der limitierten Strahlenbelastung in Kauf genommenes hohes Bildrauschen kann dann durch die Rekonstruktionen in allen drei Ebenen mit geeigneter Dichte wieder auf ein diagnostisch tolerierbares Maß reduziert werden.

Die multiplanaren Rekonstruktionen werden üblicherweise an einer Workstation vorgenommen. Die Analyse und Befundung der erhobenen Daten werden meistens an etwas dickeren Schichten ausgeführt. Es gilt immer die Schichten zwar so dünn wie möglich zu halten und dennoch das Bildrauschen auf ein vertretbares Minimum zu reduzieren. Je nach Fragestellung lassen sich speziell für die einzelnen Ebenen die Vorteile der jeweiligen Darstellung herausarbeiten.

Bei vielen Fragestellungen zeigt sich, dass die Generierung von MPRs diagnostisch zielführender ist als die Akquirierung von Daten in lediglich axialer Ebene (BRÜHSCHWEIN 2010, LIPSON 2006). Auch TIETJE (1997) betont in seinen Untersuchungen den speziellen Nutzen von Sekundärrekonstruktionen beim Pferd vor allem im Sehnenansatzbereich. Hierzu wurden anatomische Längsschnitte der entsprechenden Region und die CT-Rekons verglichen. Im Gelenk- und Insertionsbereich wurden die Rekons mit 4-mm-Schichten akquiriert.

#### **2.2.1.11.2 3D-Oberflächenrekonstruktion**

Mit der 3D-Oberflächendarstellung werden dreidimensionale Darstellungen einer gewählten Struktur innerhalb eines akquirierten Volumendatensatzes möglich. Basis bildet die Definition eines Schwellenwertes, unter dessen Dichtegrenze folgende Bildelemente nicht dargestellt werden. Licht- und Schattenanimationen tragen zur Visualisierung bei (HOFER 2010).

Optisch basierte 3D-Hilfswerkzeuge haben gegenüber der 2D-Darstellung in Bezug auf die praktische Relevanz einen Vorteil (WANG et al. 2007), da sie die räumlichen Relationen von Weichteil- und Knochengewebe besser darstellen können (BRÜHSCHWEIN 2010, SMITH et al. 2009). 3D-Rekonstruktionen computertomographisch akquirierter Daten haben sich bewährt, das Verständnis über interne Strukturen sowohl in lebenden als auch in präparierten Tieren zu fördern (BÖTTCHER et al. 1999, CHEUNG und THOMPSON 1993).

Die Vorteile dieser Verfahren sind die verbesserte Information bezüglich der Detailgenauigkeit des Weichteilgewebes sowie der Knochenoberfläche aufgrund der überlagerungsfreien Querschnittsdarstellung (WHITON et al. 1998, PETRESON und BOWMAN 1988). Zudem besteht ein Vorteil in der Identifizierung der Größe und Lokalisation sowie Dimension verschiedener Knochendefekte (BRÜHSCHWEIN 2010, DESBROSSE et al. 2008). Nachteilig wirkt sich der Umstand aus, dass bei der Rekonstruktion Datenmaterial verloren gehen kann. Somit wird die 3D-Oberflächenrekonstruktion hauptsächlich in der Skelettdiagnostik und in der CT-Angiographie wegen der guten Darstellung der Lagebeziehung von komplexen Strukturen zueinander angewandt.

#### **2.2.1.11.3 Volume Rendering**

Beim Volume Rendering (VRT) handelt es sich um eine Technik zur Darstellung von dreidimensionalen Volumendaten. Sie ermöglicht dem Betrachter eine verbesserte Vorstellbarkeit anatomischer Regionen. Hierbei werden verschiedenen Dichtewerten von Geweben jeweils bestimmte Parameter, z. B. Farbtöne, Helligkeiten und eine bestimmte Transparenz, zuge-

wiesen (PARSCH und LUDWIG 2006), um verschiedene Dichten optisch gegeneinander abzugrenzen, einen verbesserten Tiefeneindruck und anatomische Orientierung zu erlangen. Dazu werden alle Datenpunkte (Voxels, volume elements) direkt farbcodiert und auf die Bildebene des Betrachters projiziert. Ziel der Farbcodierung ist es, aus den Volumendaten korrekte Farbwerte zu erhalten, die die 3D-Daten als zweidimensionale Abbildung mit räumlichem Eindruck darstellen. Durch Veränderungen der Fensterweite und des Levels können Strukturen hervorgehoben oder verborgen werden (LIPSON 2006). Dennoch birgt diese Technik mehrere Risiken. So ist sie nur in Einzelfällen zur diagnostischen Befunderhebung geeignet (z. B. anatomische Lagebeziehungen), da durch das rechnergesteuerte „Rendering“ artifizielle Veränderungen oder gar völlige Eliminationen von Geweben möglich sind, wenn diese sich in ihren Dichtewerten nur geringgradig unterscheiden und somit schlecht voneinander abgrenzen lassen (LEVOY 1988). Der Verlust an Detailgenauigkeit wird dort akzeptiert, wo vordergründig eine Übersichtlichkeit bzw. ein ganzheitlicher Eindruck gefragt ist oder ein Vergleich mit der kontralateralen Seite angestrebt wird (TIETJE 1995).

3D-CT und Volume Rendering erweitern als praktikable, nichtinvasive Untersuchungsmittel die Möglichkeiten der bildgebenden Verfahren bei verschiedenen Patienten (GARLAND et al. 2002).

### **2.3 CT in der orthopädischen Pferdemedizin**

Die CT-Diagnostik im Bereich orthopädischer Patienten erfährt ein wachsendes Interesse. Vor allem bei pathologischen Veränderungen, die mit anderen konventionellen Verfahren nicht detektiert werden können, bietet dieses Verfahren Vorteile (BARBEE 1996, TUCKER und SANDE 2001).

Bei einem gewissen Prozentsatz der orthopädischen Patienten ist eine exakte Diagnosestellung mittels konventioneller Untersuchungsverfahren wie Radiographie, Ultraschall oder Szintigraphie nicht möglich (DYSON 1993), so dass neuere Diagnostikmedien integriert werden sollten. So wiesen Pferde, bei denen mit der konventionellen Radiographie keine Diagnose gestellt werden konnte, verschiedene Befunde in der CT-Untersuchung auf (TIETJE 1997). Subchondrale Defekte, Fissuren oder Insertionsdesmopathien konnten mittels der CT-Untersuchung diagnostiziert, und ihr Ausmaß abgeklärt werden. Gegebenenfalls konnte die CT-Untersuchung in eine Operation münden, um das Maß der Allgemeinanästhesie optimal zu nutzen und gering zu halten.

Etabliert hat sich die CT besonders im Bereich der Diagnostik von Knochenverletzungen (TUCKER und SANDE 2001, LISCHER et al. 2005) und um subchondrale (HANSON et al. 1995) und verdeckte osteochondrale Defekte (BARBEE et al. 1987) zu detektieren. Zurückzuführen ist dies vor allem auf die Akquirierung von Querschnittsbildern und die Separation von Strukturen, die sich im Falle der Projektionsradiographie überlagern würden (BRÜHSCHWEIN 2010, DESBROSSE et al. 2008, TIDWELL 1999).

Klinisch wertvoller Nutzen ergibt sich besonders dort, wo prognostizierte Diagnosen bestätigt oder ausgeschlossen werden sollen, bei der Abklärung der Beteiligung unterschiedlicher Strukturen an einem Defekt, beim Knochenremodelling im Verlauf verschiedener Knochenkrankungen sowie bei der Planung und Unterstützung der Durchführung komplizierter chirurgischer Eingriffe (TUCKER und SANDE 2001).

In der Diagnostik der Arthropathien besticht sie durch die optimale und frühestmögliche Darstellung kleinster Knochenumbauprozesse wie Knochenabbau und Sklerosierung sowie Zubildungen und Metaplasien an Insertionsstellen von Bändern oder Sehnen (DIK 1993, KLEITER 1996, TIETJE 1995, TIETJE 1997). WERPY (2010) beschreibt eine höhere Signifikanz der Detektion geringgradiger Exostosenbildung mittels ihrer Summation im Röntgenbild gegenüber dieser im CT und MRT.

## **2.4 Die CT an den distalen Gliedmaßen des Pferdes**

Im Bereich der distalen Extremität des Pferdes existieren nur wenige Studien, die sich mit dem Einsatz der CT zur Detektion verschiedener Knochenerkrankungen befassen (DIEHL und CORDEY 1983, BARBEE und ALLEN 1987, HERTSCH et al. 1988, PETERSON und BOWMAN 1988, TIETJE 1995, TIETJE 1997, WHITTON et al. 1998, WIDMER et al. 2000). Zusätzlich gibt es nur wenige Studien zum Thema CT und Weichteilerkrankungen. NOWAK (2002) und TIETJE et al. (2001) evaluierten mittels computertomographischer Untersuchung die Beteiligung der tiefen Beugesehne am Krankheitsbild der Podotrochlose.

Die CT bietet vor allem bei Knochenerkrankungen im Bereich anatomisch komplexer Strukturen, die mittels Radiographie nicht genau bewertet werden können, erhebliche Vorteile (BARBEE et al. 1987, BRÜHSCHWEIN 2010, PETERSON und BOWMAN 1988, TIETJE 1995). Sie liefert eine gute anatomische Auflösung der knöchernen Strukturen und gewährleistet eine exzellente Differenzierung von spongiösem und sklerotischem Knochen (HERTSCH et al. 1988, TIETJE 1995).

Ein entscheidender Vorteil der CT ist die Tatsache, dass Sklerosierungen, Osteolysen und Apposition von Knochengewebe sehr viel früher detektiert werden können als mit der Projektionsradiographie (DENNIS 1996, TUCKER und SANDE 2001). Dies liegt an der Gegebenheit, dass es einer Mindestabweichung in der Knochendichte von 40 % bedarf, bevor diese und die resultierenden Veränderungen röntgenologisch identifiziert werden können (DYSON et al. 2003). Degenerative Veränderungen sind dann allerdings schon weit fortgeschritten (BUTLER et al. 2008, JAHN 2005). Dies betrifft vor allem Veränderungen am Gelenkknorpel, da sie erst radiologisch diagnostiziert werden können, wenn erste pathologische Veränderungen im Bereich des subchondralen Knochens vorliegen (MC ILWRAITH 1985). Im CT ist die Identifizierung von Dichteunterschieden weitaus früher möglich, gemäß PEASE und REDDING (2011) schon ab 0,5 %.

Für die ausführliche Beschreibung der computertomographischen Anatomie des HG/SB wird auf die Arbeit von HORSTMANN (2000) verwiesen.

Das Hufgelenk muss bereits im Bereich der subchondralen Knochenplatte bewertet werden. Die Spongiosa des Hufbeins weist insgesamt eine relativ homogene Struktur auf, die bis zur subchondralen Knochenplatte geringgradig an Dichte zunimmt. Im folgenden Anschnitt der beiden Gelenkgruben des Hufgelenkes trägt die umgebende Knochenplatte die größte Dichte, d. h. palmar resp. plantar lateral und medial der Gelenkfläche mit einer Verbindung in der dorsalen Medianen. Die Gelenkfläche zur Artikulation mit dem Strahlbein zeigt die geringste Dichte. Im Bereich des Hufgelenkes an der Facies articularis des proximalen Hufbeins werden Veränderungen der subchondralen Knochenplattenstruktur sowie der Übergang zwischen Gelenkknorpel und subchondraler Knochenplatte beurteilt. Physiologisch sollte sich

die subchondrale Knochenplatte homogen und dicht mit einer klaren Trennung zur Spongiosa darstellen. Das Hufbein wird unmittelbar nach dem Anschnitt der Gelenkgruben des Hufgelenkes von den distalen Kronbeinwalzen überlagert. Die korrespondierende Gelenkfläche der distalen Kronbeinepiphyse wird ebenfalls auf oben beschriebene Veränderungen beurteilt. Der Streckfortsatz des Hufbeins setzt sich kurz nach Erscheinen der Gelenkgruben des Hufgelenkes vom Hufbein ab, das übrige Hufbein wird dann bereits von der distalen Kronbeinwalze überlagert. Seine Spitze verliert sich mit steigendem Durchmesser, er flacht deutlich ab.

Das Hufbein beginnt in der axialen Schicht mit der Hufbeinspitze. Die Oberfläche und Struktur des Hufbeins erscheint durch die strahlenförmig zum distalen Wandraum konvergierenden diversen Gefäßlöcher relativ aufgelockert und grobmaschig. Die lateralen und medialen Gefäßkanäle lassen sich als punktförmige, hypodense Areale gut darstellen.

In der weiteren Schnittführung erscheinen lateral und medial die Hufbeinäste. Sie treten je nach Verknöcherungsgrad als unregelmäßig konturierte Gebilde auf. Mitunter treten circumskript der Hufbeinäste isolierte, knochendichte Fragmente auf. Die Spongiosa des Hufbeins nimmt nach proximal hin an Dichte zu und besitzt folglich den höchsten Dichtegrad im Bereich der unter den weiter proximal erscheinenden Gelenkgruben des Hufgelenkes sowie in einer Verbindung dorsal in der Medianen. Dorsoproximal erstreckt sich der Processus extensorius als ein Teil des Hufgelenks.

Das Strahlbein tritt in der axialen Schicht in Erscheinung, während das Hufbein bereits von distalen Kronbeinanteilen überlagert wird. Der P. e. und verknöcherte Knorpelanteile der Hufbeinäste sind dann noch sichtbar. An der Strahlbein-Hufbein-Hilfsgelenkfläche ist es oft schwierig, zwischen Hufbein und Strahlbein zu unterscheiden. Mittels der Einbuchtungen der Canales sesamoidales am Margo distales des Strahlbeins wird der Übergang zwischen Hufbein und Strahlbein optisch klarer getrennt. Im distalen Anschnitt des Strahlbeins ist an der Facies flexoria sowie der ihr zugewandten Seite eine deutliche Knochenkompakta ersichtlich, die auf ihre Integrität hin überprüft werden muss. Der Sagittalkamm der Facies flexoria zeigt sich konstant als prominente Erhöhung bis zum proximalen Anschnitt des proximalen Strahlbeins und dem möglichen Erscheinen proximaler Strahlbeinkanäle. Medial und lateral an den Strahlbeinseitenenden erscheinen im proximalen Anschnitt die Insertionen der Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinbänder. Hier ist auf ossäre Ausziehungen der Insertionsstellen zu achten.

## **2.5 Die Beurteilungsgrundlage, der Röntgenleitfaden**

Im Jahr 1993 wurde der Röntgenleitfaden (RöLF), eine Empfehlung der Bundestierärztekammer, für die Beurteilung bei der Kaufuntersuchung des Pferdes verfasst (KETTNER und HERTSCH 2005), um den Tierarzt in die Lage zu versetzen, eine neutrale Begutachtung von Röntgenbefunden für Käufer und Verkäufer zu erstellen (RöLF 2007). Grundlage dessen bildete das Ergebnisprotokoll der Sitzung des Deutschen Tierärzteschaft e. V.-Ausschusses „Pferd“ in Bonn vom März 1991 mit dem Ziel der Bildung einer internationalen Kommission, die sich mit einer Ausarbeitung zur Standardisierung der Interpretation von Röntgenbefunden befassen sollte (KETTNER 2003).



Unterschiede in der Interpretation und Befundbeschreibung der Röntgenbefunde in Kaufuntersuchungen, uneinheitlich angefertigte „Standard“aufnahmen, mangelhafte Qualität und Technik im Rahmen der Anfertigung der Aufnahmen (KETTNER und HERTSCH 2005) haben, besonders auch im Hinblick auf die Schuldrechtsreform von 2002, den Tierarzt immer wieder vor das Problem der Haftbarkeit gestellt und juristische Konsequenzen nach sich gezogen (STADLER 2005). Diese Tatsache wird zusätzlich durch den Umstand verstärkt, dass die potentiellen Käufer die Ankaufuntersuchung durch den Tierarzt gerne als „Garantiebescheinigung“ für die zukünftige Gesundheit oder Leistungsfähigkeit eines Pferdes ansehen (KERSJES 1983, RIJKENHUIZEN 2002) und der Tierarzt sich mangels definierter Interpretationsgrundlage auf juristisch schmalen Grat bewegte (BEMMANN 2008). Gemäß LAUK (2002) soll sie dem Käufer lediglich als Entscheidungshilfe dienen. Eine prognostische Einschätzung über die Haltbarkeit eines Pferdes anhand einer isolierten Röntgenuntersuchung im Rahmen der Kaufuntersuchung lässt sich nach der Meinung von HERTSCH (1992) und RIJKENHUIZEN (2002) ohnehin nicht stellen. Manche röntgenologischen Befunde können über Jahre hinweg bestehen, ohne eine Lahmheit zu verursachen.

Mit Erarbeitung des RöLF erhoffte man sich eine Reduzierung der Haftbarkeit des Tierarztes im Rahmen von Ankaufuntersuchungen. Die Orientierung anhand eines festgelegten Standards soll die Häufigkeit von Fehlbefunden und -interpretationen minimieren (WIEMER 2007).

So empfiehlt die Deutsche Bundestierärztekammer laut Präambel des RöLF 2007 bei der Interpretation von Befunden im Rahmen der Kaufuntersuchung seine Anwendung (STADLER 2005).

Gerade im Bereich der Strahlbeurteilung wurde auch schon durch die Arbeiten von HUSKAMP und BECKER (1980) deutlich, dass die Beurteilung der Röntgenaufnahmen erstens stark vom Erfahrungsgrad des Untersuchers, aber vor allem auch durch die mangelnde Manifestierung einheitlicher Interpretation von röntgenologischen Veränderungen bei fehlender klinischer Symptomatik beeinflusst wird. Gerade die Uneinheitlichkeit in der Strahlbeurteilung kann zu Verunsicherungen und Regressansprüchen seitens der Pferdekäufer führen. Selbst bei wiederholten Interpretationen von Aufnahmen durch ein und denselben Untersucher kann es zu verschiedenen Beurteilungen kommen (GROTH 2009, WINTER et al. 1996).

Der RöLF fordert über Anmerkungen zu Qualität und Technik der Röntgenaufnahmen, dass „die Geräteeinstellung in der Qualität Röntgenaufnahmen ergeben muss, mit der Knochenstrukturen, Konturen, Gelenklinien und Weichteilbereiche zu beurteilen sind“ (RöLF 2007).

Gerade im Bereich des Strahlbeins unterliegt die Röntgenuntersuchung Qualitätseinflüssen. Artefaktbildungen, die z. B. durch Beeinflussung des Films, der Folie oder des Objektes entstehen, sind problematisch und keine Seltenheit (HERTSCH 2004).

Die ursprüngliche Kommission, bestehend aus B. Hertsch (Hannover), J. Dik (Utrecht), und G. Ueltschi (Bern), erarbeitete die Grundzüge des heutigen RöLF 2007. Um Kollegen in der Praxis mehr Sicherheit und Schutz bei der Durchführung von Kaufuntersuchungen zu geben (HERTSCH 1992), sollte die Kommission „Empfehlungen zu den Qualitätsansprüchen der Standardaufnahmen, zur Nomenklatur der röntgenologischen Befunde und Hinweise auf die Interpretation der röntgenologischen Veränderungen“ erstellen und weitergeben (RöLF 2003 und 2007).

Der RöLF enthält in seiner neusten und überarbeiteten Version (RöLF 2007) durch die mittlerweile 3. Kommission, bestehend aus G. Brunken (Verden), H. Gerhards (München), B. Hertsch (Berlin), und W. Jahn (Bargteheide), weiterhin etablierte Anmerkungen und Empfehlungen zur Qualität und Aufnahmetechnik von Röntgenbildern. Die Klassifizierung zur Beurteilung von röntgenologisch sichtbaren Veränderungen gliedert sich in vier Hauptklassen und drei Zwischenklassen (Tabelle 1), wobei sich diese Definitionen unlängst lediglich im Text, aber nicht im Sinn verändert haben (MÜLLER 2008, RöLF 2007). Die Zwischenklassen erlauben nach wie vor eine geringgradige subjektive Beurteilungsfreiheit innerhalb eines definierten Rahmens, der Raum für eigene Erfahrungen und Interpretation lässt. Sie entsprechen der prozentualen Differenz zwischen den Hauptklassen II, III und IV (RöLF 2007).

Befunde der Klasse II müssen weiterhin nicht zwingend erwähnt werden. Wiederum hat die klinische Befundung keinen Einfluss mehr auf die Klasseneinteilung, sondern nur noch auf die Endbeurteilung der Kaufuntersuchung.

Des Weiteren enthält die überarbeitete Form (RöLF 2007) eine verfeinerte Differenzierung der Befunde, und eine damit verbundene Erweiterung der Zahl der Befunde von 200 auf 286 sowie eine verbesserte Gliederung.

Im Jahr 2000 wurde die Idee, eine CD-ROM „Röntgenkatalog der Ankaufsuntersuchung-RöKA 1.0“ als computergestütztes Informationsprogramm zur bildlichen Dokumentation und Interpretationshilfe zu entwickeln, umgesetzt und die CD war im Oktober 2000 beim 53. BPT Kongress in Leipzig erstmals erhältlich. Durch weitere Kritik und Überarbeitung des RöLF sowie Gründung der 2. und 3. Kommission steht dem Anwender heute nun schon die dritte überarbeitete CD-ROM RoekA 4.0 mit über 600 katalogisierten Röntgenbefunden zur Verfügung. Ziel des „RoekA-Röntgenkatalog für die Ankaufsuntersuchung 4.0“ ist die visuelle Darstellung des Befundkataloges des „Leitfaden für die röntgenologische Beurteilung bei der Kaufuntersuchung des Pferdes“ (RöLF 2003) in Form von digitalisierten bzw. digitalen Röntgenbildern (KETTNER 2003). Die Darstellung einzelner Befunde dient Praktikern und Juristen im Rahmen von Ankaufsuntersuchungen zur Veranschaulichung und Vergleichbarkeit spezieller oder fraglicher Befunde in Form einer weiteren Katalogisierung in digitalisierter Form.

Tabelle 1: Röntgenklasseneinteilung gemäß dem RöLF 2007

<b>Klasse I</b>	Röntgenologisch ohne besonderen Befund und Befunde, die als anatomische Formvarianten eingestuft werden.	Idealzustand
<b>Klasse II</b>	Befunde, die gering vom Idealzustand abweichen, bei denen das Auftreten von klinischen Erscheinungen in unbestimmter Zeit mit einer Häufigkeit unter 3 % geschätzt wird.	Normzustand
<b>Klasse III</b>	Befunde, die von der Norm abweichen, bei denen das Auftreten von klinischen Erscheinungen in unbestimmter Zeit mit einer Häufigkeit von 5 % bis 20 % geschätzt wird.	Akzeptanzzustand
<b>Klasse IV</b>	Befunde, die erheblich von der Norm abweichen, bei denen klinische Erscheinungen wahrscheinlich (über 50 %) sind.	Risikozustand

## 2.6 Die Diagnose der Strahlbeinerkrankung

Die Erkrankung des Strahlbeins, die Podotrochlose, ist ein Syndrom mit verschiedenen Teilaspekten (VERSCHOOTEN 1987) und manifestiert sich nach CLAERHOUDT et al. (2011) in klinischer Ausprägung stets progredient bei Reitpferden mittleren Alters. Anderenfalls ist es für ROSS und DYSON (2003) schwer nachvollziehbar, wie eine einzelne Erkrankung einerseits mit einem sukzessiven Beginn und einer langsam progressiv verlaufenden Lahmheit beider Vordergliedmaßen sowie andererseits mit einem akuten Auftreten einer relativ hochgradigen, einseitigen Vorderhandlahmheit einhergehen kann, dabei noch mit unterschiedlichen röntgenologischen Manifestationen oder Pferden, die nie röntgenologische Veränderungen aufweisen.

Nach HERTSCH (1982) ist die eigentliche Podotrochlose eine Erkrankung der Sehnengleitfläche und der angrenzenden tiefen Beugesehne, von den Insertionsdesmopathien des Strahlbeins sowie den in Anzahl, Form und Größe veränderten, deformierten Canales sesamoidales abzugrenzen. So präzisiert er die eigentliche Podotrochlose als eine Sesamoidosis podotrochlearis und/oder Tendinosis podotrochlearis, abhängig davon, an welcher Lokalisation die entsprechenden Läsionen zu finden sind. Da meist korrespondierende Alterationen beider Grenzflächen zu diagnostizieren sind, spricht man auch vom Podotrochlosesyndrom (DROMMER et al. 1992).

Im internationalen Sprachgebrauch wird wegen der Beteiligung unterschiedlicher morphologischer Strukturen meist der Begriff „navicular syndrome“ benutzt. Nach BLUNDEN et al. (2006) sollte der Begriff zukünftig vermieden werden, da mit den neuen bildgebenden Verfahren eine präzise Angabe der am klinischen Bild des, von RIJKENHUIZEN (2006) als „palmar foot syndrome“ bezeichneten Krankheitsbildes, beteiligten Veränderungen gemacht

werden kann, welche zu Schmerzen im palmaren Gliedmaßenbereich beitragen. Anhand etablierter und modernster Bildgebungsmodalitäten ist deutlich geworden, dass analog der komplexen Anatomie des Hufrollenapparates eine Vielzahl verschiedener pathologischer Prozesse das Strahlbein und seine Strukturen involvieren kann. Die Tatsache, dass das Strahlbein nicht als eine isolierte Struktur betrachtet werden kann, macht den Nutzen fortschrittlicher Diagnostikmedien so wichtig (DYSON 2011).

Da das Strahlbein eine funktionelle Einheit mit dem Hufgelenk bildet, sind häufig arthrotische Veränderungen der Facies articularis des Strahlbeines und Hufgelenkes mit der Podotrochlose vergesellschaftet (DELIUS 1982, WINKELMEYER 1989). Möglich ist auch, dass Arthrosen des Hufgelenkes als Folgeerscheinung des Podotrochlosesyndroms auftreten (DROMMER et al. 1992). Bei an Podotrochlose erkrankten Pferden zeigt sich daher meist eine signifikante Häufung vermehrter Hufgelenksfüllung (DYSON 1991).

Projektionsradiographie war lange Zeit die einzige verfügbare Technik und das Mittel der Wahl in der Diagnostik der Strahlbeinerkrankungen (DYSON 2011 und 2008). Trotz neuer, revolutionärer diagnostischer Möglichkeiten ist für RIJKENHUIZEN (2006) die radiologische Untersuchung immer noch der Startpunkt in der Diagnostik.

Nach heutigem Wissensstand wird die Röntgenuntersuchung als Methode zur früher viel diskutierten Früherkennung der Podotrochlose (DIESTERBECK und DISTL 2007) allerdings weitläufig überschätzt (HERTSCH und ZELLER 1976). Wichtig ist das Wissen um die mangelnde Korrelation von radiologischen Veränderungen und klinischem Erscheinungsbild (KERSJES 1983). Auf der einen Seite wird mit zunehmendem Grad der Veränderungen am Strahlbein auch ein Anstieg der zukünftig an Podotrochlose erkrankten Pferde festgestellt, auf der anderen Seite zeigen klinisch gesunde Pferde mit hochgradig veränderten Strahlbeinen kein erhöhtes Risiko, an Podotrochlose zu erkranken (BODENMÜLLER 1983, STADLER 2005). Insgesamt fehlt hier allerdings die empirische Untermauerung, da nur wenige Verlaufsuntersuchungen zu klinisch gesunden Pferden mit Strahlbeinveränderungen vorliegen.

Man kennt klassische radiologische Veränderungen, die mit der Podotrochlose vergesellschaftet sind. Gleichermäßen ist aber auch ihre relative Aussagekraft bekannt. Sie werden seit Jahren kontrovers diskutiert. Manche Autoren stellen fest, dass radiologische Veränderungen bei allen Pferden mit Podotrochlose vorkommen (COLLES 1983, NUMANS und VAN DE WATERING 1973, ROSE et al. 1978), andere konstatieren, dass Podotrochlose auch bei Pferden auftritt, die keine radiologischen Veränderungen aufweisen (CAMPBELL 1972, ACKERMANN 1977, TOAL 1998, DYSON 1995). Diese Fälle waren zum Zeitpunkt der genannten Publikationen auch als „klinische Form der Podotrochlose“ bekannt, sie klassifizierten sich über eine positive Palmarnerveanästhesie und radiologisch unauffällige Strahlbeine ohne zusätzliche Anhaltspunkte einer pathologischen Abweichung im Weichteilgewebe (VERSCHOOTEN et al. 1987). Mit den aktuellen technischen Möglichkeiten, vor allem die des MRTs, können diese Veränderungen heute weitgehend detektiert werden.

Da die Diagnose der Podotrochlose sich nicht ausschließlich auf knöcherne Strukturen bezieht, sondern vor allem auch Weichteilstrukturen am Bild der PT beteiligt sein können, kann eine standardisierte radiologische Untersuchung irreführen (WIDMER 2008). Vorteile bietet die Computertomographie vor allem durch die Möglichkeit einer sowohl exzellenten Knochendarstellung als auch einer ausreichenden Weichteildarstellung. Ein weiterer Aspekt, der

eine rein radiologisch begründete Diagnose des Podotrochlosesyndroms verbietet, ist die komplexe Anatomie im Bereich der distalen Zehe (HERTSCH 1982, TURNER 1989). Nur eine Kombination der verschiedenen Gerätemedien gewährleistet eine optimale Evaluierung der an diesem Syndrom beteiligten verschiedenen Prozesse.

## **2.7 Die Darstellung des Strahlbeins im Röntgenbild**

Allgemein sollte bei der röntgenologischen Untersuchung des Hufes darauf geachtet werden, den zu interessierenden Bereich vor der Röntgenaufnahme auf körperfremde Bestandteile zu untersuchen, um eventuelle Schatten- oder Artefaktbildung auf dem Röntgenbild zu vermeiden (DYSON 2011, KELLER 1972).

Die detaillierte Kenntnis der Röntgenanatomie ist die Basis einer adäquaten Diagnostik (DYSON 1988). In den Ausführungen von HARTUNG und TELLHELM (2000) und HARTUNG (2006) wird die Notwendigkeit der Anfertigung von mindestens zwei Röntgenaufnahmen pro Gliedmaße in unterschiedlichen Ebenen aufgezeigt, um der Darstellung eines dreidimensionalen Objektes mittels einer zweidimensionalen Bildgebungsmodalität Rechnung zu tragen.

Eine optimale und umfangreiche radiologische Untersuchung des Strahlbeines umfasst die lateromediale Projektion, die Oxspring-Aufnahme als dorsopalmare Projektion (DPr-PaDiO) und die Skyline-Aufnahme als 55°-palmaroproximo-palmarodistale/tangentiale Projektion (55° PaPr-PaDiO) (DYSON 2011 und 2008, UELTSCHI 2002). In besonderen Fällen, z. B. bei Parasagittalfrakturen, kann die Anfertigung einer dorsopalmaren Aufnahme der belasteten Gliedmaße von Bedeutung sein (DYSON 2011).

Nach HERTSCH und ZELLER (1976) sowie VERSCHOOTEN et al. (1987) ist die tangentiale Aufnahme der palmaren Kontur, der Kontur der Facis flexoria, wie sie 1972 von MORGAN beschrieben wurde, im Rahmen einer Standarduntersuchung, z. B. bei der Ankaufsuntersuchung, nicht obligat. Im Verdachtsfall kann sie zur Abklärung der Befunde als ergänzende Kontrollaufnahme durchgeführt werden. Gemäß dem RÖLF ist dies als Ausweitung der Standardaufnahmen möglich (RÖLF 2007).

### **2.7.1 Übersichtsaufnahme 90° gemäß dem RÖLF 2007**

Die 90°-Aufnahme wird im lateromedialen Strahlengang durchgeführt.

Der Huf muss hierzu auf einen ungefähr 5 cm hohen, planparallelen Holzbrett gestellt werden, der Zentralstrahl trifft die Kassette im rechten Winkel. Zur optimalen Beurteilung des Strahlbeins ist eine orthograde Abbildung unerlässlich.

Der Zentralstrahl sollte bestenfalls 1,5 - 2,5 cm unterhalb des Kronsaumes, in einer gedachten Linie in der Verlängerung der Beugesehne und parallel zum Ballen zu liegen kommen (UELSCHI 2002). In einer Übersichtsaufnahme gemäß dem Röntgenleitfaden ist diese Forderung zu Gunsten eines Kompromisses zur Darstellung der gesamten Zehe nicht realisierbar (RÖLF 2007, HARTUNG 2006). Somit muss man berücksichtigen, dass das Strahlbein hierbei nicht im Zentralstrahl liegt und etwas verprojiziert erscheint (TELLHELM et al. 1988). Gemäß dem RÖLF 2007 sind mittels der Standardprojektionen auch nicht alle röntgenologischen Veränderungen detektierbar. Nach HERTSCH (2004) ist auf spezielle Einflüsse bei

der Aufnahmetechnik zu achten. Sowohl eine Abweichung in der Transversal- sowie Horizontalebene als auch die mangelnde Belastung der Gliedmaße können zu Fehlinterpretationen bei der Befundung führen.

Die Form des Strahlbeins sollte im Hinblick auf die Visualisierung proximaler oder distaler Verlängerung der Gleitfläche betrachtet werden, um dorsoproximale Enthesiophytenbildung diagnostizieren zu können (DYSON 2011). In der Entwicklung des Pferdes verändert sich die Form des Strahlbeins auf der lateromedialen Projektion von nahezu quadratischer bis zur trapezförmigen Darstellung, die Gleitfläche kann aber schon in jungen Jahren sichtbar nach proximal und/oder distal prolongieren (UELTSCHI 2002) und gegebenenfalls Exostosenbildung aufweisen (ADAMS 1980).

Auf der lateromedialen Aufnahme kann der Sagittalkamm der Sehnengleitfläche beurteilt werden. Der Sagittalkamm kann in seiner Mitte eine geringgradige Eindellung aufweisen, sie präsentiert sich als Formvariante. Darüber hinaus kann der Kortex der Sehnengleitfläche von proximal nach distal auf seine Dicke überprüft werden. Eine einheitliche Struktur bzw. Dichte der Kortex ist ebenfalls von diagnostischem Interesse. Die Trabekelstruktur der Spongiosa sollte leicht zu erkennen sein und im rechten Winkel zu Facies flexoria und subchondralem Knochen der Gelenkfläche verlaufen. Am distalen Rand zeigt sich eine halbrunde Kerbe, der Eintritt der Canales sesamoidales in den Knochen. Das so genannte Hilfgelenk stellt sich mit parallelen Rändern oder divergierenden Konturen dar. Eine deutliche Demarkation zwischen der dichteren und gleichmäßigen endostalen Oberfläche der ausgebildeten Knochenplatte (Kompakta) der Facies flexoria zur Spongiosa ist im Weiteren zu bewerten (DYSON 2008, DYSON 2011).

Die Studie von RUOHONIEMI und TERVAHARTIALA (1999) zeigte, dass die CT-Untersuchung im Strahlbeinbereich, insbesondere bei der Beurteilung der Facies flexoria, eine sehr hilfreiche Methode ist, um eine objektive Beurteilung schwer relativierbarer Strukturen, röntgenologischer Veränderungen und deren Beschaffenheit zu gewährleisten. So lässt sich im CT die Dichte und Abgrenzung der Kortex und des subchondralen Bereichs im Gleitflächenbereich stets beurteilen. Der Übergang zwischen Kortex und Spongiosa erscheint im CT stets eindeutiger als auf dem Röntgenbild. Diese Ergebnisse bestätigte auch TIETJE (1995) mit seinen Untersuchungen: Mittels der Möglichkeit einer Dichtemessung ist eine optimale Beurteilung des Übergangs der subchondralen Knochenplatte-Spongiosa realisierbar. Ungeachtet dessen bleibt allerdings der Umstand einer gegebenenfalls krankheitsbedingt fehlenden Differenzierung von Spongiosa und subchondraler Knochenplatte bei weit fortgeschrittener Sklerosierung.

Bei an Podotrochlose erkrankten Pferden stellt sich der Übergang zwischen Kortex und Spongiosa generell sehr undeutlich dar (VERSCHOOTEN 1989). KASER-HOTZ und UELTSCHI (1992) referierten über eine unklare Grenzfläche zum Kortextbereich und Sklerosierungen der Spongiosa auch bei 16 % der klinisch gesunden Pferde. Dies betont wieder einmal die Problematik der Korrelation von Klinik und bildgebendem Befund.

WRIGHT (1993) berichtete über eine schlechte kortikomedulläre Demarkation bei 56 % der lahmen Pferde. Seines Erachtens ist die röntgenologische Darstellung eines undeutlichen kortikomedullären Überganges projektionsbedingt oft problematisch.

Generell erscheint die Gleitflächenkortex im CT dünner als auf dem Röntgenbild. Ihre Dicke ist auf den verschiedenen Röntgenaufnahmen stark projektionsabhängig (WRIGHT 1993).

Die röntgenologische Darstellung der Kortex der Facis flexoria gewährt im Allgemeinen nur eine grobe Einschätzung der realen kortikalen Dicke und Dichte (RUOHONIEMI und TERVAHARTIALA 1999). Veränderungen der Dicke der Strahlbeinkortex sind nach DYSON und KIDD (1993) als abnorm zu beurteilen. Verdickungen der Kortex werden einerseits als aktives adaptives Knochenremodelling als Folge eines erhöhten Trainingsreizes gesehen (BIGGI und DYSON 2011), andererseits als Degeneration des fibrokartilaginären Knorpels (POOL 1989) als Antwort auf Belastung oder mechanische Insulte.

Veränderungen an der Sehnengleitfläche und die Beurteilung des Übergangs von der Kortikalis zur Spongiosa können röntgenologisch optimal nur auf der tangentialen Aufnahme beurteilt werden (UELTSCHI 2002, DYSON 2008). Da diese Aufnahme nicht Gegenstand der Arbeit ist, ist eine Beurteilung der röntgenologischen Darstellung des kortikomedullären Übergangs nur ansatzweise möglich gewesen.

### **2.7.2 Strahlbein 0°-Aufnahme gemäß dem RöLF 2007**

Die dorsopalmare Aufnahmetechnik nach Oxspring fordert die geläufige Vorbereitung des Hufes (OXSPRING 1935). Hierzu werden die Hufeisen entfernt, um Überlagerungen des Hufes durch das Eisen und somit Fehlbefunden vorzubeugen, die Strahlfurchen ausgeschnitten und abschließend mit röntgendichtem Fasstalg (HARTUNG und KELLER 1972, TELLHELM et al. 1988) ausgeschmiert, um spätere Lufteinschlüsse und somit Artefaktbildung in diesen zu verhindern (POULOS 1992).

Die Hufspitze wird für die 0°-Aufnahme auf einen Holz- oder Plexiglasblock gestellt. Plexiglas schafft eine stärkere Strahlenabsorption als Holz und wirkt als eine Art Ausgleichsfilter. Damit wird eine Überexponierung („Überschießen“) des Hufbeins verhindert (HERTSCH und ZELLER 1976). Letztlich erzeugt die Vorderseite des Blocks mit dem Boden einen Winkel von 55° bis 60° (KELLER 1993) und der Huf bildet durch seine Positionierung im Block eine Senkrechte zwischen Zehenwand und Boden. Die Ausrichtung des Zentralstrahls erfolgt horizontal und mittig einen Fingerbreit über dem Kronsaum. Gemäß DYSON (2011) sollte dieser die Sehnengleitfläche tangential treffen. Insbesondere bei dieser Aufnahmetechnik ist eine korrekte Position der Gliedmaße von größter Wichtigkeit (DYSON 2011).

Auf der dorsopalmaren Aufnahme projiziert sich das Strahlbein über die untere Hälfte des Kronbeins. Die Beurteilung verschiedener Kriterien wird hierdurch erschwert. Wichtig ist, dass sich der distale Strahlbeinrand nicht im Hufgelenk abbildet, da sonst die Strahlbeinanteile überexponiert werden (HERTSCH und ZELLER 1976). Zu gering oder zu stark gebeugte Fesselgelenke sind die häufigsten Fehlerquellen der Überlagerung des distalen Strahlbeinrandes mit dem Hufgelenk (DYSON 2011, KELLER 1985).

Bei stark untergeschobenen Trachten muss der Zentralstrahl gegebenenfalls um 5° nach unten geneigt werden, um das Strahlbein über den Gelenkspalt anzuheben (UELTSCHI 2002, LANG 1981). Der richtige Winkel hängt dabei von der Konformation der zu untersuchenden Gliedmaße ab. Bei weich gefesselten Pferden sollte der Winkel flacher, bei aufrechter Fessel hingegen steiler sein. Aus falscher Winkelung resultieren Artefakten, die die Dichte der Spongiosa verändern und eine präzise Demarkation der Trabekelstruktur und des Kortextbereichs verhindern (DYSON 2011). Da die Neigung jedoch durch den Winkel zwischen Block und Boden fixiert ist, ergibt sich gemäß HERTSCH und ZELLER (1976) lediglich

durch die Höhe des Klotzes und somit veränderte Beugung der Zehe sowie durch die Positionierung der Gliedmaße im Verhältnis zum Standbein eine Variable, die damit die Lage des Strahlbeins verändern kann. Die Höhe des Hufes zum Boden sollte standardisiert 15 cm betragen und die Haltung der Gliedmaße auf dem Oxspring-Klotz auf Höhe des Standbeins erfolgen (HERTSCH 2004). Gemäß DYSON (2011) sollte sich die zu röntgende Gliedmaße ein wenig weiter kaudal der kontralateralen Gliedmaße befinden, das Fesselgelenk dabei gestreckt werden, um Überlagerungen des Strahlbeins mit dem Fesselbein zu vermeiden.

Um die die Qualität der Aufnahme beeinflussende Streustrahlung zu minimieren, bedient man sich eines Rasters oder der Einblendung des Strahlenbündels auf das Notwendige, woraus eine bessere Feinzeichnung resultiert (TELLHELM et al. 1988).

Gemäß dem RÖLF werden in der dorsopalmaren Aufnahme Form und Symmetrie des Strahlbeins, Knochenstruktur und Dichte, Lage und Form der Kanäle sowie Konturveränderungen der Strahlbeinränder beurteilt. Die Befunde am Strahlbein müssen stets mit der kontralateralen Seite verglichen werden. Eine Symmetrie der Strahlbeine wird von HERTSCH und ZELLER (1976) vorausgesetzt.

## **2.8 Röntgenologische Veränderungen**

Veränderungen am Hufgelenk und der Hufrolle sind die häufigsten Gründe für verschiedene Lahmheiten am Vorderbein des Pferdes (STASHAK 1986, MAC GREGOR 1989, TURNER 1989). Der Röntgenbefund stellt nach HERTSCH (1992) lediglich die objektive Beschreibung beobachteter röntgenologischer Veränderungen dar. Anatomischen Formvarianten wird im RÖLF 2007 durch die Charakterisierung „Idealzustand“ der Röntgenklasse I Rechnung getragen. Im Folgenden sollen geringgradige Abweichungen vom Idealzustand („Normzustand“ Klasse II), vom Normzustand abweichende Befunde („Akzeptanzzustand“ Klasse III) und erheblich von der Norm abweichende Befunde („Risikozustand“ Klasse IV) dargestellt werden. Die Ausführungen beziehen sich gemäß dem Themenbereich weitgehend auf die Beleuchtung der Darstellung der Befunde. Differenzierung der Entwicklung, des Verlaufes, der klinischen Bedeutung und der prognostischen Einschätzung sind nicht Gegenstand dieser Arbeit.

### **2.8.1 Hufgelenk**

Auf dem Röntgenbild sichtbare Gelenkspaltveränderungen, Sklerosierung des subchondralen Knochens, artikuläre und periostale Zubildungen sowie Umbauprozesse wie Abflachung oder Entrundung der Gelenkflächen implizieren nach UELTSCHI (1993) eine Gelenkdegeneration. Auch der periartikuläre Weichteilschatten ist zu beurteilen. Er wird aus dem periartikulären Gewebe und der Gelenkkapsel gebildet. Wichtig für die Beurteilung eines Gelenkes sind die Anzahl und das Ausmaß der Veränderungen.

Die im RÖLF unter 1.11 Hufgelenk 90° aufgeführten röntgenologischen Veränderungen nehmen diese Aspekte in ihrer Gliederung auf.



### **2.8.1.1 Degenerative Gelenkerkrankungen (Osteoarthritiden, OA)**

Osteoarthritiden signifizieren eine übergeordnete Bezeichnung verschiedener Krankheitsprozesse, deren progressiv degenerativer Charakter im Finalstadium die Zerstörung der Gelenkknorpelarchitektur sowie begleitende Veränderungen am Knochen- und Weichteilgewebe zur Folge hat (MCILWRAITH 1989, JAFFE 1972, SCHWEIKE 2005).

Eine durch traumatische Insulte oder stetigen Abrieb auftretende primäre Knorpelläsion äußert sich vor allem in der Beeinträchtigung der Gelenkknorpelmatrix, insbesondere in der Schädigung der Kollagenfasern in oberflächlichen Schichten. Ist ein oberflächlicher Defekt erst einmal entstanden, kann dies auch die tieferen Schichten der Kollagenfasern betreffen (ROTH und MOW 1980). Je nach Beteiligung der verschiedenen Zonen innerhalb des Knorpels sprechen RIEGEL und HAKOLA (2006) von der in frühen Stadien der Gelenkdegeneration entstehenden Abschuppung (Tangentialzone betroffen) oder Auffaserung bei progredienter und tiefer Erosion (Radiärzone betroffen). Im weiteren Verlauf entstehen Störungen in den Stoffwechselvorgängen im Bereich der Knorpelzellen und Beeinflussung der amorphen Grundsubstanz. In Folge der Primärläsion und der versagenden Kompensation durch die sich verändernde Synovia kommt es zu tieferen Rissen oder Spalten im Knorpel. Ältere Läsionen präsentieren sich mit einem abgerundeten Randsaum. In Folge des Funktionsverlustes des Knorpels und seines rauen Reliefs kommt es durch Scherkräfteinwirkungen bei jeder Gelenkbewegung zu weiterem Knorpelabrieb bis zur Entstehung sogenannter Knochenglatzen. Die subchondrale Knochenplatte versucht dies mit einer reaktiven Sklerosierung zu kompensieren (UELTSCI 1993). SOKOLOFF (1983) bezeichnete das glänzende und sklerotische Aussehen der freigelegten Knochenplatte als eburnifiziert (lat.: elfenbeinartig). Im weiteren Verlauf wird auch die Knochengrenzlamelle in Mitleidenschaft gezogen. Ihr Einbruch bedeutet das Finalstadium des Geschehens. Folgend wird durch bindegewebige Reparationsvorgänge Granulationsgewebe in die entstandenen Defekte eingelagert. Dies ist als Remodellierung des Oberflächenreliefs im Sinne einer eingegliederten Narbenbildung makroskopisch erkennbar (DÄMMRICH 1993, FASSBENDER 1983).

WIDMER und BLEVINS (1994) betonen die Faktoren, die die röntgenologische Früherkennung degenerativer Gelenkerkrankungen begünstigen. Hierzu zählen die Qualität der Röntgenaufnahmen sowie des verwendeten Materials als auch der Erfahrungsgrad des Tierarztes in der Beurteilung von Röntgenaufnahmen. Nach MCILWRAITH (1989) wurden fünf verschiedene Typen der Osteoarthritiden unterteilt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Tabelle aus Stashaks Adams' Lahmheiten bei Pferden, Schaper 2008

<b>Typ 1</b>	Akute Erkrankungen, verbunden mit Synovialitiden, in Gelenken mit großer Beweglichkeit vorkommend
<b>Typ 2</b>	Schleichende Erkrankung, in Gelenken mit geringer Beweglichkeit vorkommend
<b>Typ 3</b>	Zufällige oder „nichtprogressive“ Gelenkknorpelerosionen
<b>Typ 4</b>	Sekundär nach anderen Erkrankungen, zu denen gehören <ul style="list-style-type: none"> <li>a) intraartikuläre Frakturen</li> <li>b) Dislokationen, Bänderrisse</li> <li>c) Wunden</li> <li>d) septische Arthritiden</li> <li>e) Osteochondrosis</li> </ul>
<b>Typ 5</b>	Chondromalazie

### 2.8.1.2 Entzündungen des Hufgelenks

Unterschieden werden akute und chronische Hufgelenksentzündungen.

Eine akute, aseptische Hufgelenksentzündung, die durch Distorsion, Kontusion oder intraartikuläre Frakturen verursacht werden kann, korreliert mit einer Schädigung des Gelenkknorpels, der Gelenkkapsel und der die Kapsel verstärkenden Bänder (SILBERSIEPE et al. 1986, DIETZ 1999).

Bei an Podotrochlose erkrankten Pferden zeigt sich allgemein eine signifikante Häufung vermehrter Hufgelenksfüllung, welche einen Gelenkerguss und ggf. eine traumatische, infektiöse oder idiopathische Synovialitis und somit Arthritis kennzeichnet (DYSON 1991, MCILWRAITH 1989, WHITTON et al. 1998). Röntgenologisch kann damit auch ein vergrößerter, periartikulärer Weichteilschatten einhergehen. MCILWRAITH (1989) betonte, dass die akute Hufgelenksentzündung gehäuft bei jüngeren Pferden auftritt. Wiederholte Traumen oder Belastungsfehler können an vorgeschädigten Gelenken zu chronischen Veränderungen im Sinne einer degenerativen Gelenkerkrankung führen. Eine chronische Hufgelenksentzündung stellt das Resultat einer mechanischen Über- und/oder Fehlbelastung dar.

Der in der Literatur damit häufig im Zusammenhang verwendete Begriff der Arthropathia deformans oder Arthritis et Periarthritis chronica deformans (DIETZ und LITZKE 1999) umfasst die mit Deformierung einhergehenden, progressiven, nicht entzündlichen, chronisch-degenerativen Veränderungen des Gelenkknorpels, des periartikulären Gewebes sowie der subchondralen Knochenplatte im Rahmen einer sekundären Arthroseform (BEERHUES 1987). Letztendlich ist es das Endstadium, welches pathologisch-anatomisch nicht von einer Arthrosis chronica deformans zu trennen ist (MCILWRAITH und VACHON 1988, MCILWRAITH 1989). Die röntgenologische Differenzierung eines primär-degenerativen Prozesses, im Sinne einer Knorpelschädigung, von einem sekundär-degenerativen Prozess ist nach HARTUNG (1999) sehr schwierig.

Auf dem Röntgenbild präsentieren sich lediglich die das Gelenk bildenden Knochenanteile und der Gelenkspalt selbst. Die Knorpel sind strahlendurchlässig und nicht sichtbar (HAR-

TUNG 1999). Daher können degenerative Gelenkerkrankungen erst im fortgeschrittenen Stadium röntgenologisch diagnostiziert werden, wenn entweder Veränderungen in Form einer Sklerosierung oder die Beteiligung der Knochengrenzlamelle ersichtlich sind (HARTUNG 1999, MCILWRAITH 1985). Auch eine Verschmälerungen des Gelenkspaltes sowie Veränderungen der Gelenkstellung können auf Knorpelschäden schließen lassen. In fortgeschrittenen Prozessen können auch Ankylosierungen und Kollabierungen des Gelenkspaltes auftreten (BAXTER et al. 1996).

Limitiert ist die röntgenologische Diagnostik somit vor allem in frühen Stadien der Arthropathie (JAHN 2005), die zwar mit einer Schädigung des Knorpels einhergehen, aber (noch) keine Degeneration an den Gelenkrändern oder -flächen zeigen (HARTUNG 1999).

STOCK et al. (2004) betonen die Schwierigkeit der röntgenologischen Beurteilung osteoarthrotischer Veränderungen aufgrund ihres progressiven Charakters.

### **2.8.1.3 Konturveränderungen und periartikuläre Zubildungen**

Im Bereich des Huf- und Krongelenkes werden die mit chronisch entzündlichen Veränderungen an Gelenkflächen und der Gelenkkapsel oder Kollateralbändern einhergehenden Knochenneuzubildungen als Schale bezeichnet (FLEIG und HERTSCH 1992).

Die das Hufgelenk betreffende Schale wird auch als tiefe Schale bezeichnet, korrespondierend dazu die das Krongelenk betreffende Schale als hohe Form. Sie differenzieren je nach Lokalisation die artikulare und die periartikuläre Schale sowie je nach Ausmaß die zirkuläre oder partielle Schale. Arthrotische Veränderungen sind meist an den Vordergliedmaßen lokalisiert (SCHULZ und DÄMMRICH 1991), sie sind zudem oft mit Hufrollenentzündungen und Arthrosen des Krongelenkes vergesellschaftet (TERBERGER 1988, MCILWRAITH 1989). Knöcherne Zubildungen im Randbereich von Huf- oder Krongelenk tragen unterschiedliche Bezeichnungen. Nach FLEIG und HERTSCH (1992) sind diese intraartikulär, d.h. intrakapsulär, lokalisiert und sind daher bezeichnend für eine artikulare Schale. Entsprechend werden knöcherne Zubildungen im Kapsel oder Bandansatzbereich als Periostitis ossificans gewertet.

Insertionsdesmopathien am Kollateralband des Hufgelenkes können mit einer strahlendurchlässigen Zone oder Apposition von Knochengewebe im Insertionsbereich einhergehen, diese sind aber schwierig zu detektieren und es kann ggf. einige Wochen dauern, bis diese röntgenologisch sichtbar werden (DYSON und MARKS 2003).

Nicht immer stellen sich Zubildungen auf der lateromedialen Aufnahme eindeutig dar. Zur sicheren Diagnose von Zubildungen an dorsomedialen und dorsolateralen Gelenkflächen sind Schrägaufnahmen unterschiedlicher Projektionen von 45° bis 315° (HERTSCH und BEERHUES 1988, BEERHUES 1987) auf einem Oxspring-Klotz indiziert. Allgemein sind vor allem die periostalen Zubildungen auf den Schrägaufnahmen besser darstellbar (BUTLER et al. 2008). Abhängig von der Lokalisation und der Dichte der Zubildungen entziehen sie sich der röntgenologischen Darstellung. VAN SUNTUM (1983) bezeichnete demnach Umbauprozesse am Gelenkrand erst dann als Randexostose, wenn proliferierter Knorpel infolge enchondraler Ossifikation durch Mineralisierung in knöcherne, darstellbare Zubildungen umgewandelt wurden.

#### **2.8.1.4 Strukturveränderungen (Erosionen, Ulzerationen, Usuren und zystoide Defekte)**

Oberflächliche Erosionen und Dickenabnahme des Gelenkknorpels repräsentieren Knorpelverschleiß (NILSSON und OLSSON 1973). Als Ulzerationen hingegen werden umschriebene Defekte charakterisiert.

Über die Beteiligung der Knochengrenzlamelle können die Röntgenaufnahmen keine Aussage treffen. Das Ausmaß der Gelenkalterationen zeigte sich in den Untersuchungen von HERTSCH und FLEIG (1992) am Huf- und Krongelenk erst im Zuge der Mazeration. Sie berichten zudem über die häufige Vergesellschaftung von Usuren und zystoiden Defekten im subchondralen Knochen im Rahmen einer Kontinuitätsverletzung der Knochengrenzlamelle. Vertiefungen und Verschleißzonen des subchondralen Knochens verlaufen in der jeweiligen Bewegungsrichtung des beteiligten Gelenkes (NILSSON und OLSSON 1973).

Usuren an der Knochenoberfläche sind Resultate der Knorpeldegeneration als Reaktion auf einen mechanischen Insult oder einer Überbelastung in diesem Bereich. Begleitend kommt es zu einer sklerotischen Veränderung am subchondralen Knochen entsprechend einer reaktiven Knochenzubildung (RADIN und ROSE 1986).

Nach BAXTER (1996) werden drei verschiedene Arten von Knochenzysten unterschieden.

Der aneurysmale Typ und die Einkammerzyste kommen beim Pferd eher selten vor (BLACKWELL et al. 1985). Subchondrale Knochenzysten stellen darüber hinaus den häufigsten Zystentyp dar und sind im eigentlichen pathologischen Sinne keine richtigen Zysten, weshalb sie auch als „ossäre, zystoide Defekte“ bezeichnet werden. Ihnen fehlt die epitheliale Auskleidung (SHERLOCK und MAIR 2011).

Die Begriffe ossärer zystoider Defekt, subchondrale Knochenzysten, subchondrale zystische Läsionen und subchondrale Knochenläsionen werden nach FÜRST (2007) verwendet, um im Allgemeinen röntgendurchlässige Regionen im subchondralen Knochen zu charakterisieren.

Die zystoiden Defekte leiten sich unter anderem aus der Pathogenese der Umbauvorgänge und Degeneration bei der Arthropathia deformans ab und stellen wichtige röntgenologische Anzeichen einer degenerativen Gelenksveränderung dar (DÄMMRICH et al. 1975, VAN SUNTUM und HARTUNG 1989, AUER et al. 2001).

O'BRIEN et al. (1981) und AUER et al. (2001) beschrieben subchondrale Zysten als sekundäre Läsionen bei den Osteoarthritis der Zehengelenke des Pferdes. Letzterer vergleicht ihre Struktur mit den aus der Humanmedizin bekannten intraossären Ganglien. Sie können das Resultat einer Reihe von Kompensationsversuchen für verlorene Gelenkknorpel-elastizität sowie Reparation und Abgrenzung der pathologischen Umbauvorgänge sein. Des Weiteren sind sie im Rahmen von Polyarthritiden und Osteomyeliden (NIEBAUER et al. 1982, DIK 1981) sowie der Osteochondrosis dissecans (HORNOF 1991) zu beobachten. Nach MCILWRAITH (1989) dürfen die zystoiden Defekte als Sekundärveränderungen der OA nicht mit den Knochenzysten als Begleitphänomen der Osteochondrosis im Rahmen einer Fehldifferenzierung innerhalb des Knorpelwachstums verwechselt werden (AUER et al. 2001, PARK und LEBEL 1998). Die meist akzeptierte Ätiologie im Rahmen dieses multifaktoriellen Geschehens wird im Bereich der pathomorphologischen Veränderungen der Osteoarthrosen und traumatischen Insulte (BECCATI et al. 2010, BAXTER 1996, RAY et al. 1996) gesehen.

Auch RECHENBERG (1999) berichtet über eine Korrelation von Zysten in den Phalangen beim Warmblüter und degenerativen Knorpelveränderungen.

Zystoide Defekte werden zum größten Teil an den Vordergliedmaßen diagnostiziert, zudem sind sie meist zentral im Hufbein lokalisiert (VERSCHOOTEN und de MOOR 1982, HAAK et al. 1988). Mitunter stellen sie an dieser Lokalisation auch röntgenologische Zufallsbefunde dar (EDWARDS 1984 und HAACK et al. 1988). Sie kennzeichnen sich röntgenologisch durch rund-ovale, teilweise unregelmäßig konturierte Aufhellungen im subchondralen Knochengewebe (VAN SUNTUM und HARTUNG 1989). Meist sind sie von einem Sklerosesaum umgeben (HERTSCH et al. 1988). Im Vergleich verschiedener Studien zeigen sie allerdings meist kein einheitliches röntgenologisches Erscheinungsbild (HAAK et al. 1988).

Die Detektion dieser Läsionen anhand der Radiographie ist zudem größenabhängig. Erst ab einer Größe von mindestens 2,5 x 4,2 mm ist eine Erkennbarkeit durch ein geschultes Auge auf einer anterior-posterior Aufnahme gewährleistet (VAN SUNTUM und HARTUNG 1989).

Allgemein schwanken die Angaben für Hufbeinzystoide zwischen 8 mm und 25 mm Durchmesser. Somit gehören sie zu den größeren Aufhellungen. GOODRICH und MCILWRAITH (2008) geben eine Graduierung von <10 mm bis deutlich über 10 mm in ihrer Studie an.

Wichtig ist die Diskrepanz zwischen dem röntgenologisch sichtbaren Ausmaß und der tatsächlichen Schädigung des subchondralen Knochens (MÜNZER und HARTUNG 1977). Ein die Aufhellung demarkierender Sklerosierungssaum deutet auf ein längeres und inaktives Bestehen hin, die Ausdehnungstendenz ist geringer (DIK und GUNSSER 1987, HAAK et al. 1988). Im Hinblick auf ihre klinische Relevanz sind sie vor allem auf ihre Verbindung zum Gelenk hin zu untersuchen. In Kontrastmittelstudien von VERSCHOOTEN und DE MOOR (1982) konnte in einem Drittel der unilateralen Hufbeinzysten eine Beteiligung des Hufgelenkes bestätigt werden. In den Untersuchungen von HAAK et al. (1988) war in zwei Dritteln der Fälle röntgenologisch eine Verbindung zum Hufgelenk sichtbar. Röntgenologisch sichtbare Hohlräume können mitunter mit einer amorphen, gelatinösen oder knorpeligen Substanz ausgefüllt sein (VON RECHENBERG et al. 1998), aus welchem Grund Kontrastmittelinjektionen nur eine partielle Verbindung der Kompartimente bestätigen können.

Allgemein ist ihre röntgenologische Identifizierung auf (schrägen) anterior-posterior Aufnahmen mit größerer Sicherheit gewährleistet als auf den lateromedialen Projektionen (FÜRST 1997, VAN SUNTUM und HARTUNG 1989, VERSCHOOTEN und DE MOOR 1988). Ihre Darstellbarkeit ist demnach abhängig von der jeweiligen Projektionsrichtung. Röntgenologische Orientierung schaffen Kerben an den Gelenklinien, welche von der Ausrichtung des Zentralstrahls abhängen. Differentialdiagnostisch davon zu trennen sind ausgeheilte Frakturspalte mit Gelenkbeteiligung.

Nach der Studie von VERSCHOOTEN (1980) stellt der Processus extensorius eine Prädilektionsstelle für die Lokalisation von zystoiden Defekten im Hufbein dar. Bei der röntgenologischen Untersuchung des Hufbeins können vereinzelte zystoidverdächtige Aufhellungen im Bereich der Hufbeinäste sichtbar werden. In der Mazeration konnten sie in der Arbeit von HAAK et al. (1988) als vergrößerte Spongiosalücken identifiziert werden. Diese biologischen Formvarianten sind differentialdiagnostisch von zystoiden Defekten im Hufbein abzugrenzen. In seltenen Fällen werden im Bereich der Hufbeinäste tatsächliche zystoide Defekte diagnostiziert.

### **2.8.1.5 Osteochondrose, Osteochondrosis dissecans (OCD) und isolierte Verschattungen**

Über die Definition und Nomenklatur der Osteochondrose besteht in der Literatur bis heute keine einheitliche Meinung.

Nach JEFFCOTT (1991) definiert die Osteochondrose oder Chondrodysplasie initial eine gestörte Zelldifferenzierung in der Wachstumsphase des juvenilen Knorpels. Im Rahmen der Osteogenese kommt es hierbei zu einer Störung oder zum Ausbleiben der enchondralen Ossifikation (VAN WEEREN 2005). Abhängig von der Lokalisation betrifft es den artikulären Knorpel oder metaphysäre Wachstumsfugen. Die terminale Differenzierung hypertrophierter Knorpelzellen bleibt aus, der hypertrophierte Knorpel persistiert und tiefe Knorpelschichten nekrotisieren (MC ILWRAITH 1989). Verantwortlich hierfür scheint unter anderem entweder eine Nekrose von Knorpelkanälen (CARLSON 1995) oder eine fehlende Kapillarbildung zu sein (JEFFCOTT und HENSON 1998). Folge des progressiven Knorpelabbaus und der verminderten Widerstandsfähigkeit des hypertrophierten Knorpels sind periphere Knorpelablösungen (DÄMMRICH 1985, NIXON 1993) und periartikuläre subchondrale Knochenzysten. Für die Ätiologie wird auf die entsprechende Literatur verwiesen (ARNAN und HERTSCH 2005, ARNAN 2005, VAN WEEREN 2005, KROLL 1999).

Als Spezialform der Osteochondrose stellt sich die periphere Knorpelfragmentierung als Osteochondrosis dissecans (OCD) dar. Nach HERTSCH (1991) definiert sich die OCD als eine bei Mensch und Tier vorkommende zirkumskripte, aseptische Nekrose des subchondralen Knochengewebes und des Gelenkknorpels. Damit bestätigte er die Annahmen von DIETZ und NAGEL (1975) sowie die Definition von PSCHYREMBEL (2002). Die Fragmente können eingebettet in der Synovialmembran zu liegen kommen oder sich vom Knorpelbett lösen (MCILWRAITH 1989).

Im Rahmen sekundärer Ossifikationsvorgänge erlangen freie Gelenkmäuse oder Corpora libera (EDWARDS 1984) ihre röntgenologische Darstellung als verknöcherte Dissekate (HERTSCH 1991). Sie zeichnen sich durch eine isolierte, röntgendichte Verschattung (KROLL 1999) im jeweiligen Gelenkbereich aus. Korrespondierend kann es zu lokalisierten sowie ausgedehnten Unregelmäßigkeiten oder auch einer Abflachung im Bereich des subchondralen Knochens kommen. Auf dem Röntgenbild lassen sich die isolierten Verschattungen bezüglich ihrer Größe, Anzahl und Lokalisation beurteilen (HOPPE 1984, ZELLER et al. 1978). Die ätiologische Differenzierung der Veränderungen kann mittels Projektionsradiographie meist nicht dargestellt werden (SANDGREN 1988).

Im Hufgelenk stellen sie allerdings einen eher selteneren Befund dar. Sprung-, Knie und Fesselgelenk sind weit häufiger betroffen (JEFFCOTT und KOLD 1982, JEFFCOTT 1991).

### **2.8.2 Hufbein**

Das Hufbein wird in dieser Arbeit nur im Zusammenhang des bildenen Anteils des Hufgelenkes behandelt. Eigenständige Veränderungen am Margo solearis (1.5, RÖLF 2007), an der dorsalen Hufbeinwand (1.6, RÖLF 2007) sowie den Hufbeinästen (1.8, RÖLF 2007) werden in dieser Arbeit nicht thematisiert. Der Processus extensorius wird als zugehörig zum Hufgelenk im Hinblick auf osteoarthrotische Veränderungen (MERZ 1993) extra aufgeführt.

### 2.8.3 Processus extensorius

Der Processus extensorius (P. e.) wird als ein bildender Anteil dem Hufgelenk zugerechnet (WISSDORF et al. 2002). Sein radiologisches Erscheinungsbild ist sehr variabel (NILSSON und OLSSON 1973, STASHAK 1989, UELTSCHI 1991, DYSON 1988), was nach TERBERGER (1988) vermutlich auf die unterschiedlich wirkende, mechanische Belastung in diesem Bereich und die eng angrenzenden Strukturen zurückzuführen ist.

Die Formenvielfalt wird im Röntgenbild von rund über breit mit ggf. zweigipfliger Kontur zu einfach oder mehrfach spitzzackig aufgegriffen. Nach COLLES (1986) sollte der P. e. eine glatte Kontur aufweisen. Demnach müssen radiologische Veränderungen ggf. mit dem Erscheinungsbild der kontralateralen Seite verglichen sowie der etwaige klinische Befund berücksichtigt werden, um dezentale Prozesse des Knochenremodellings im Rahmen von Reparatursprozessen, von anatomischen Formvarianten kontrastierend zu unterscheiden (DYSON 1991). Formvarianten stehen Insertionsdesmopathien der Gelenkkapsel oder Insertionstendopathien der Strecksehne sowie isolierten Verschattungen, die nach HERTSCH und HAAK (1987) als „Corpora libra“ bezeichnet werden, gegenüber. Ihrer Meinung nach stellen die meisten isolierten Verschattungen Fragmente im Rahmen frakturierter Randexostosen dar.

Die isolierten Verschattungen mit und ohne Zubildungen zählen nach MCILWRAITH et al. (2005) zum Themenkreis der Osteochondrose. Osteochondrale Fragmente können nach STASHAK (1989) aufgrund von wiederholter Hyperextension des Hufgelenkes auftreten. Differentialdiagnostisch davon abzugrenzen sind Avulsionsfrakturen des Proc. extensorius. TERBERGER (1988) und HARFST (1986) betonten, dass bei Veränderungen am Processus extensorius die klinische Bedeutung oft fehlt und rechnen die Veränderungen daher nicht zum Themenkomplex der Podarthrose. Eine röntgenologische Diagnose ist ihrer Meinung nach daher meist ein Zufallsbefund. Dennoch können sich auch klinisch unauffällige Veränderungen später noch zu arthrotischen Veränderungen entwickeln (VAN SUNTUM 1983). So bestätigt MERZ (1993), dass ein spitz ausgezogener Processus extensorius schon als erstes Anzeichen einer arthrotischen Hufgelenksveränderung gewertet werden kann, insbesondere wenn er mit Konturveränderungen wie Zubildungen oder Aufrauungen vergesellschaftet ist (VAN SUNTUM 1983). Hier sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die röntgenologische Untersuchung nicht die tatsächliche Knochenarchitektur hervorbringen kann (UELTSCHI 2000).

Röntgenologische Veränderungen wie Randexostosen und Zubildungen des subchondralen Knochens werden folglich nach TERBERGER (1988) und FLEIG und HERTSCH (1992) nach der anatomischen Zugehörigkeit zum Hufgelenk wie bereits erwähnt als artikuläre und periartikuläre Zubildungen unterschieden und stehen nach BUTLER et al. (2008) im Wirkungskreis der Arthropathia deformans. Sie treten bei jungen Pferden durch Fehlbelastung des Hufgelenkes auf Grund eines Bockhufes oder durch erbliche Disposition auf (MCILWRAITH 1989).

Bei knöchernen Zubildungen im periartikulären Bereich des Strecksehnenfortsatzes wird nach HERTSCH (1997) eine getrennte Beurteilung der Kontur des subchondralen Knochens und des periartikulären Bereiches als sinnvoll erachtet. Gemäß DYSON (1988) kann es sich hierbei differentialdiagnostisch um sekundäre, separate Ossifikationszentren des Processus

extensorius handeln sowie um Ossifikationen der Strecksehne. STASHAK (1989) bezeichnet eine Randexostose am P.e. als „butress foot“ und zählt sie im Gegensatz zur hohen Schale im Bereich des Krongelenkes zur tiefen Schale im Bereich des Hufgelenkes.

Frakturen des P.e. stellen sich in Aufhellungslinien dar. TERBERGER (1988) referierte ausführlich über den P.e. und verschiedene Frakturformen. Dabei spielen horizontale Frakturen des gesamten P.e. und der partielle Abbruch des Kronrandes des P.e. sowie die Vertikalfaktur des P.e. eine Rolle. In der Regel handelt es sich um intraartikuläre Frakturen, da meist der dorsale Recessus der Hufgelenkkapsel mitbetroffen ist. Die Arthropathia deformans stellt dann häufig eine Begleitkomplikation dar (KERSJES 1983). Im Rahmen der möglichen Avulsion von Frakturfragmenten sind differentialdiagnostisch Metaplasien der Strecksehne oder Gelenkkapsel sowie isolierte Ossifikationszentren (DYSON 1988, STASHAK 1989) und isolierte, osteochondrale Fragmente der OCD davon zu trennen (vgl. Abschnitt 2.8.1.5).

#### **2.8.4 Strahlbein**

Aufgrund des gehäuftten Auftretens von Strahlbeinveränderungen an den Vordergliedmaßen (POOL 1989) sowie des bilateralen Charakters wird die Oxspring-Röntgenaufnahme nur an den Vordergliedmaßen vorgenommen. Im Rahmen der Übersichtsaufnahme wird die lateromediale Projektion des Strahlbeins auch an den Hinterbeinen durchgeführt.



#### 2.8.4.1 Canales Sesamoidales

Seit etlichen Jahren stehen die früher als „Gefäßlöcher“ des Strahlbeins (COLLES und HICKMANN 1977) bezeichneten röntgenologischen Aufhellungen am distalen und proximalen Strahlbeinrand im Mittelpunkt der Diskussion (DYSON 2011, BUTLER 2008).

HERTSCH et al. konstatierten (1982) mittels Kontrastmittelradiographie und histologischer Verifizierung, dass diese sich vor allem am Margo distalis befindlichen Vertiefungen mit dem Stratum synoviale der Gelenkkapsel überzogen und ausgekleidet sind und damit eindeutig im Bereich der Hufgelenkhöhle liegen. Am Eintritt der Kanäle in das Strahlbein sowie in der Tiefe ist kein Gelenknorpel vorhanden. Synovia wird bei einer Druckerhöhung im Hufgelenk stetig in diese Löcher gepresst und trägt somit zur Erweiterung bei. Randständig führen die Erweiterungen die das Strahlbein versorgenden, aber extraartikulär liegenden Arterien Aa. nutriciae dist. Durch die zeitlebens starke mechanische Belastung in diesem Bereich kommt es mit zunehmendem Alter des Pferdes zu Erweiterungen dieser Vertiefungen (WINTZER 1964). Kanäle, die die versorgenden Arterien führen, ohne eine Erweiterung zu erfahren, werden als „Canales nutriciae distales“ bezeichnet. Synovial erweiterte Kanäle tragen den Namen „Canales sesamoidales“ (HERTSCH 1982). Die Kanäle variieren in Anzahl, Form und Größe und stehen als Ausdruck für die unterschiedliche Belastung des Hufgelenkes. Ihrer Anzahl wird mittlerweile nicht mehr viel Bedeutung beigemessen.

Der Form hingegen wird eine größere Relevanz zugesprochen, sie gestaltet sich sehr vielfältig. Schmale, spitze, breite, konische oder zylindrische Kanäle prägen den distalen und mitunter proximalen oder seitlichen, medialen und lateralen Strahlbeinrand. Die klinische Relevanz betrifft vor allem Kanäle im Seitenbereich sowie in ihrer Form veränderte Kanäle. Deformierte Kanäle sind klein- und/oder großkolbig, ansonsten y-förmig verzweigt (RÖLF 2007). Deformierte Kanäle mit deutlicher Sklerosierungszone zeigen sich größtenteils über Jahre hinweg unverändert (DIK 1978, BODENMÜLLER 1983), während unscharf begrenzte Strukturdefekte die Tendenz besitzen sich auszuweiten. Mitunter kann es zu einer Perforation der Sehnengleitfläche kommen. Diffuse Ränder einer röntgenologischen Aufhellung stellen einen Entwicklungsprozess dar, klar umschriebene Defekte kennzeichnen eher einen abgeschlossenen, stabilisierten Zustand (KELLER und GRUNDMANN 1995). Unter Umständen besteht sogar die Möglichkeit, dass sich deformierte Kanäle vereinzelt zurückbilden. Auch sie haben in der Regel einen sklerosierten Randsaum.

TIETJE (1995) erwähnt in seinen Untersuchungen die Schwierigkeit der röntgenologischen Differenzierung von Defekten der Sehnengleitfläche und deformierten Canales sesamoidales auf Oxspring-Aufnahmen, wenn beide Aufhellungen sich hintereinander projizieren. In den vergangenen Jahren wurden die Kanäle durch verschiedenste Beurteilungsschemata klassifiziert (HERTSCH und ZELLER 1976, HUSKAMP und BECKER 1980, MAC GREGOR 1986, DIK 1992). Da röntgenologische Veränderungen oft nicht mit der Klinik korrelieren, bleibt die Beurteilung der Canales sesamoidales weiterhin umstritten. Insbesondere ihre Bedeutung als Indikatoren für die Diagnose der Podotrochlose bleibt zweifelhaft (MERZ 1993, GABRIEL 1998). So werden deformierte Kanäle eher als ein Anzeichen der Hufgelenksarthrose denn als ein Resultat der Podotrochlose angesehen (HERTSCH et al. 1982, HERTSCH und STEFFEN 1986, POULOS und SMITH 1988).

Die Aufnahme der Beurteilung des Strahlbeins in den RÖLF entspricht am ehesten dem Beurteilungsschema nach HERTSCH und ZELLER (1976), in dem zusätzlich neben den Kanälen auch Struktur- und Konturveränderungen klassifiziert wurden und die Einteilung in unverdächtige, verdächtige und pathologische Strahlbeine dem heutigen Standard der Klassifizierungen der Abweichungen vom Idealzustand (RÖLF) gerecht wird. Die größte Problematik in der Beurteilung der Strahlbeine besteht in der unklaren Trennung von „normalen“ Strahlbeinen und geringgradig „abnormalen“ Strahlbeinen (VERSCHOOTEN 1987 und VERSCHOOTEN et al. 1989), besonders in Bezug auf die Canales sesamoidales.

#### **2.8.4.2 Struktur**

Die Entwicklung von Lahmheiten, die auf Schmerzen im palmaren Hufbereich zurückzuführen sind, sind vor allem mit einer irregulären, inhomogenen Knochenstruktur sowie Dichteverlust der Spongiosa, Remodelling in der Strahlbeinkortex, Perforation der medullären Trabekel, fokaler Osteolyse der Facies flexoria und gelegentlichen Strahlbeinfrakturen assoziiert (OSTBLOM et al. 1982, WRIGHT et al. 1998, KASER-HOTZ und UELTSCHI 1992).

Die Strahlbeinstruktur soll eine gleichmäßige, feinmaschige Spongiosa und regelmäßige Trabekelanordnung aufweisen (HERTSCH und ZELLER 1976, UELTSCHI 2002).

Um ossäre Veränderungen mittels der Radiographie identifizieren zu können, bedarf es einer Mindestabweichung in der Knochendichte von 40 % (DYSON et al. 2003). Degenerative Veränderungen sind dann allerdings schon weit fortgeschritten (BUTLER et al. 2008). In der Oxspring-Aufnahme kann eine Dichteveränderung durch mangelnde Vorbereitung des Hufes und Artefaktbildung vorgetäuscht werden. Dichteveränderungen können als lokale und gut begrenzte, diffuse und schlecht begrenzte oder generalisierte Bereiche auftreten (UELTSCHI 2002).

Allgemein werden vermindert strahlendurchlässige Verdichtungen des Knochengewebes als Sklerosen bezeichnet, Aufhellungszonen, d. h. Entkalkungszonen (OXSPRING 1935), als Osteoporosen. Sklerosierungen treten eigenständig oder kombiniert mit Aufhellungszonen (sklerosierte Randbereiche) auf. Kennzeichnend für sie ist der defizitäre Kontrast zwischen Spongiosa und Kompakta. Die Spongiosa kann möglicherweise bis zur völligen Untrennbarkeit von Spongiosa und Kompakta verdichtet sein (UELTSCHI 1983a), die Trabekelanordnung ist dann nicht mehr ersichtlich (HERTSCH und STEFFEN 1986).

DIEHL und CORDEY (1983) fanden heraus, dass sich die im Zentrum des Strahlbeins beginnende Sklerosierung parallel mit zunehmendem Erkrankungsgrad verstärkt. Die Erkrankung geht immer vom Zentrum aus, Gleitflächendefekte sind fast immer mit einer schweren Sklerosierung des Spongiosaknochens im Zentrum sowie einem Verlust des Dichteaufbaumusters vergesellschaftet. Nach UELTSCHI (1983b) ist die Sklerosierung in der Übergangszone von subchondraler Knochenplatte zur Spongiosa als ein häufiges und sicheres Anzeichen für das Vorliegen einer Podotrochlose zu bewerten. Sklerosierungen stellen nach HERTSCH und STEFFEN (1986) einen röntgenologischen Befund mit hoher Signifikanz für das Auftreten gleichzeitiger Veränderungen an der Facies flexoria dar.

Zentrale Aufhellungsbezirke rund-ovaler Form repräsentieren Einbrüche der Knochengrenzlamelle der Facies flexoria (HICKMANN 1964, ZELLER 1980, HERTSCH und STEFFEN 1986) und werden meist von einem Sklerosierungssaum (HERTSCH und HAAK 1988) um-

geben. Ihre Bedeutung liegt vor allem in der mechanischen Beeinträchtigung aufgrund von resultierenden Verwachsungen der Granulationsflächen von tiefer Beugesehne und Strahlbein. Erosionen und Ulzerationen des Faserknorpels sind meistens in der distalen Hälfte des Strahlbeins oder neben dem Sagittalkamm lokalisiert, die subchondrale Knochenplatte ist partiell oder generalisiert betroffen. Mitunter können Einbrüche der Knochengrenzlamelle mit Canales sesamoidales oder zystoiden Defekten in Verbindung stehen und somit zu einem großen Substanzverlust im Knochen führen (OSTBLOM 1989, POULOS und SMITH 1988, WRIGHT 1998). Die differentialdiagnostische Abgrenzung zystoider Defekte (HERTSCH und DELIUS 1983) lässt sich nur mittels der Strahlbeintangentialaufnahme vornehmen (BUTLER et al. 2008, HERTSCH und STEFFEN 1986).

Zystoide Defekte repräsentieren Strukturauflösungen im Markraum. Sie treten als röntgenologisch umschriebene, kuppelartige, konische oder kugelförmige Aufhellungen im Knochen auf, haben in 30 % der Fälle eine Verbindung zur Gelenkfläche (GOODRICH und MCILWRAITH 2008) und sind meist mit einer Lahmheit verbunden (WRIGHT 1993). Im Zehenbereich des Pferdes kommen sie mit einer großen Prävalenz vor. Röntgenologisch können zystoide Defekte nicht immer sicher detektiert werden (BIGGI und DYSON 2010) und bedürfen oftmals der Nutzung fortschrittlicher Diagnostikmodalitäten wie CT oder MRT. Radiologische Charakteristika hängen stark vom Entwicklungsstand ab. Manche stellen sich erst mit einer kleinen Aufhellungslinie oder Kerbe an der entsprechenden Gelenkfläche dar und lassen damit auf eine Verbindung zum naheliegenden Gelenk schließen. Sie können sich oval, zirkulär, konisch oder als gekammerte Aufhellung innerhalb der Spongiosa präsentieren (SHERLOCK und MAIR 2011). Gegebenenfalls kann ein schmaler Sklerosesaum diese Aufhellungen umgeben. Die subchondrale Sklerosierung ist abhängig von ihrem Entwicklungsstadium (VON RECHENBERG et al. 1998). Manche Aufhellungsbezirke am Übergang zwischen dem distalen Strahlbeinrand und den schrägen Seitenteilen sind mit Fragmenten des distalen Randes vergesellschaftet (DYSON 2008, DYSON und BIGI 2011).

Diese Fragmente korrespondieren nach den Untersuchungen von BIGGI und DYSON (2010) für gewöhnlich mit Veränderungen des distalen Randes, die mehr als das distale Drittel des Strahlbeins involvieren. In den begleitenden MRT-Untersuchungen standen diese Aufhellungsbezirke meist mit zystoiden Defekten im Zusammenhang.

Aufhellungslinien im Strahlbein können entweder Artefakte bedeuten oder stellen Frakturen des Strahlbeins dar. Im Hinblick auf Fehlinterpretationen durch mögliche Artefaktbildung ist hier noch einmal auf die zwingende Vorbereitung der Hufe hinzuweisen.

Frakturen zählen nach HERTSCH und KÖNIGSMANN (1993) zu den selteneren Lahmheitsursachen beim Pferd. Es werden sowohl Sagittal- als auch Transversalfrakturen sowie pathologische Frakturen beobachtet. Chipfrakturen werden im Rahmen der Konturveränderungen besprochen. Aufgrund von Kräfteverteilung, Biomechanik und Belastung treten Frakturen vor allem im Bereich der Vorderextremitäten auf. KASER-HOTZ (1991) berichtet zudem über zwei Fälle von traumatischen Frakturen im Bereich der Hinterextremitäten. Nach NÉMETH et al. (1982) sind eine normale Knochenstruktur, eine röntgenologisch detektierte, scharfe Frakturspalte wie auch fallweise deutlich dislozierte Fragmente kennzeichnend für die Fraktur. Die Dislokation kann unter Umständen sicher nur durch eine zusätzliche Tangentialaufnahme erhärtet werden (O'BRIEN et al. 1975). HERTSCH und ZELLER (1976) weisen auf die Option einer pathologischen Fraktur im Rahmen von Knochenremodelling bei

einer Podotrochlose hin. Eine signifikante Häufung von Frakturen bei an Podotrochlose erkrankten Pferden besteht nach Meinung von WYN-JONES (1985) jedoch nicht. Das röntgenologische Bild einer Strahlbeinfraktur kann über Jahre unverändert bestehen bleiben. Verantwortlich dafür ist im Wesentlichen die mangelhafte Durchbauung des Frakturspaltes aufgrund der Druckbelastung und der nicht ausschaltbaren hohen Mobilität in diesem Bereich sowie der möglichen Verwachsung von Granulationsgewebe des Frakturspaltes mit Fasern der tiefen Beugesehne (HERTSCH und KÖNIGSMANN 1993). Dies stellt eine mechanische Folgekomplikation dar (POULOS 1993).

#### **2.8.4.3 Kontur**

Die Form des Strahlbeins variiert stark innerhalb der Pferdepopulation. Sie sollte stets die Form des kontralateralen Beines widerspiegeln (BUTLER et al. 2008). Nach RÖSTEL-PETERS (1987) nimmt mit Außerachtlassen der Konturveränderungen bei der Strahlbeinbeurteilung die Erkennbarkeit der Krankheit „Podotrochlose“ ab. Zugleich betont er die Problematik der Befundung von Konturveränderungen in der Oxspring-Aufnahme aufgrund der durch die Kronbeinkompakta möglichen Überlagerung der Strahlbeinseitenenden sowie der etwaigen Deckung von distalem Strahlbeinrand und Hufbeinanteilen.

Die Entwicklung des Strahlbeins verläuft über eine in der Oxspring-Aufnahme eher oval wahrnehmbaren Form (BUTLER et al. 2008, SMALLWOOD et al. 1989) mit einfacher Kontur des proximalen und distalen Randes bis hin zu seiner gereiften, typisch Weberschiffchen ähnlichen Form mit deutlicher Doppelkonturenbildung am proximalen und distalen Rand (DIK et al. 2001). Zurückzuführen ist dies auf die Konturen der Facies articularis und Facies flexoria jeweils am proximalen und distalen Rand des Strahlbeins. Die Doppelkonturenbildung des distalen Randes bildet sich schneller aus als die des proximalen Randes (DIK et al. 2001). Somit erlangt das Strahlbein erst mit fortschreitender Skelettentwicklung seine radiologische Reife. Die proximale Doppelkonturbildung auf einer Oxspring-Aufnahme ist ein Resultat der proximalen Verlängerung des Randes der Facies flexoria, wie es bei einer Mehrheit der adulten Pferde zu beobachten ist (KASER-HOTZ und UELTSCHI 1992). Am stärksten ausgeprägt ist sie, wenn der verlängerte Rand der Facies flexoria mit einer konkaven Form der Facies articularis kontrastiert (DIK et al. 2001). Die Seitenenden des Strahlbeins sollen stets eine abgerundete Kontur aufweisen (HERTSCH und ZELLER 1976).

Konturveränderungen kommen generell sowohl am Margo distalis als auch am Margo proximalis sowie an den Strahlbeinseitenenden vor. Sie sind meistens schon in frühen Krankheitsstadien ausgebildet. Ihre Progressivität wird allerdings eher gering beurteilt (GRUNDMANN und KELLER 1995). Die Zubildungen am Margo proximalis werden entweder als Enthesiophytenbildungen im Bereich der Insertionsstelle des Fesselbein-Strahlband-Hufbeinbandes oder als knöcherne Metaplasien der am Strahlbein inserierenden proximalen Hufgelenkkapsel als Reaktion auf Hufgelenksverstauchungen gewertet (HICKMANN 1977, DÄMMRICH 1983). Am Margo distalis handelt es sich in der Regel um ein die Sehnengleitfläche in distaler Richtung verlängerndes, schalenförmiges, appositionelles Knochengewebe zur Verstärkung der Insertion des Strahlbein-Hufbeinbandes (DÄMMRICH et al. 1983, TÓTH 1989). Die Verstärkung der Strahlbeinbänder durch spongiöse Exostosen- oder Faserbildung

wird von DÄMMRICH et al. (1983) als Ausdruck übermäßiger und ungleichmäßiger Zugbelastungen auf Ursprünge oder Insertionen gewertet.

Die radiologische Untersuchung von Patienten mit primären und akuten Desmopathien gibt nur wenig diagnostische Auskunft, wird aber zur differentialdiagnostischen Abklärung von plötzlich auftretenden Lahmheiten genutzt, um eventuell bestehende Frakturen des Hufgelenkes oder des Strahlbeins auszuschließen (KOFLER et al. 2007).

Periartikuläre Osteophyten, die auf der lateralen Aufnahme sichtbar am dorsoproximalen Rand des Strahlbeins lokalisiert sind, reflektieren eine Hufgelenkserkrankung, die unabhängig oder assoziiert mit der Podotrochlose auftreten kann (DYSON 2008).

Auch röntgenologische isolierte Verschattungen an den Strahlbeinrändern zählen zu den Konturveränderungen. Knöcherne Fragmente kommen vor allem am distalen Strahlbeinrand, am Übergang zum schrägen Seitenteil sowohl medial als auch lateral vor (DYSON 2011 und 2008). Aufgrund eines nur geringen Mineralisierungsgrades und eines daraus resultierenden niedrigen Objektkontrastes sind sie röntgenologisch nicht immer zu detektieren (UELTSCHI 2002) und stellen daher teilweise einfache Zufallsbefunde dar. Meist sind sie mit anderen Veränderungen im Strahlbeinbereich lahmere Pferde vergesellschaftet (BIGI und DYSON 2011, BLUNDEN et al. 2006, WRIGHT 1993, WRIGHT et al. 1998). KASER-HOTZ und UELTSCHI (1992) diagnostizierten eine geringe Prävalenz in einer Studie an gesunden Verkaufspferden. Differentialdiagnostisch handelt es sich dabei um Avulsionsfrakturen des distalen Strahlbeinrandes, Frakturen von Enthesiophyten des Lig. sesamoideum impar, sekundäre Mineralisation des Lig. sesamoideum impar nach Verletzung, Osteome sowie separate Ossifikationszentren im Lig. sesamoideum impar (BIGI und DYSON 2010, DYSON 2008, POULOS 1989, WRIGHT 1993). Ein kompletter Abriss der Insertion des Strahlbein-Hufbeinbandes stellt einen eher seltenen Befund dar. Er ist mit einer Vergrößerung der Distanz zwischen distalem Strahlbeinrand und dem Hufbein vergesellschaftet (DYSON und MARKS 2003). Bei den MRT-Untersuchungen von BIGGI und DYSON (2010) waren knöcherne Fragmente für gewöhnlich mit einem jeweiligen Frakturbett sowie Veränderungen in den benachbarten Strukturen bzw. Remodelling des umgebenden distalen Randes vergesellschaftet. Fehlen diese Veränderungen am distalen Rand und in benachbarten Strukturen, kann röntgenologisch nicht sicher zwischen Fragmenten oder dystrophischer Mineralisation unterschieden werden. Die Autoren verglichen die Darstellbarkeit von Fragmenten am distalen Strahlbeinrand sowie zystoiden Defekten mittels konventionellem und digitalem Röntgen und nutzten die MRT als Goldstandard ihrer Methode. Ihre Untersuchungen beziehen sich ausschließlich auf die Strahlbeine der Vordergliedmaßen von Pferden, deren Lahmheit mit einer Anästhesie der mittleren Palmarnerven geblockt wurde, an denen anschließende radiologische, ultrasonographische und szintigraphische Voruntersuchungen keinen ersichtlichen Lahmheitsgrund liefern konnten. Sie graduierten die Strahlbeine anhand der begleitenden, radiologischen Veränderungen am distalen Strahlbeinrand im Vergleich zu den Ergebnissen der MRT-Untersuchung. Sie zeigten, dass die Lage des Strahlbeins im Verhältnis zum Hufgelenk entscheidend ist für die röntgenologische Identifizierung von Fragmenten. Sie bestätigten damit die Annahmen von O'BRIEN (2005) und BUTLER et al. (2008), die der Position der Gliedmaße in der röntgenologischen Darstellung des Strahlbeins die entscheidende Rolle zugeschrieben haben. Nach BIGGI und DYSON (2010) steigt die Exaktheit der röntgenologischen Identifizierung mit dem Grad und der Größe der Fragmente. Ein erhöhter Anteil

von Fragmenten mit hochgradigen Veränderungen des distalen Randes war dennoch nicht zu verzeichnen. Fragmente mit geringgradigen Veränderungen des distalen Randes waren röntgenologisch generell schlecht zu identifizieren. Proximale Fragmente sind sehr selten zu befunden. Sie reflektieren in der Regel einen Ausriss von Fasern des Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinbandes an seiner Insertionsstelle am proximalen Strahlbeinrand (DYSON 2008) und sind meist mit einer Lahmheit vergesellschaftet. Im Falle einer Mineralisation des Bandes ist eine klinische Relevanz ebenfalls wahrscheinlich (DYSON 2003).

Eine auf der seitlichen Aufnahme weich konturierte Eindellung des Sagittalkammes sehen DE CLERCQ et al. (2000) und DYSON (2008) als physiologische Formvariante einer Fossa synovialis an. Die klinische Bedeutung von Konturveränderungen wird sehr unterschiedlich gewertet. Die enthesiophytären oder osteophytären Läsionen bedeuten nach HICKMANN (1989) meist keinen Funktionsverlust, können aber unter Umständen prädisponierend sein für weitere Verletzungen. POOL (1989) sieht während ihrer Bildung eine Möglichkeit der Schmerzquelle und Prädisposition für sich entwickelnde Lahmheiten. Ausgeheilte, reife Enthesiophyten sind seiner Meinung nach hingegen meist asymptomatisch. DYSON (2008) beurteilt Enthesiophyten und ihre klinische Korrelation abhängig von der Größe und Lokalisation. Kleinere Enthesiophyten am lateralen oder medialen Strahlbeinflügel aufgrund asymmetrischer Belastung der Insertion des Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinbandes bewertet sie als nebensächliche Befunde. Größere Fragmente wirken sich dagegen stärker belastend auf den gesamten Strahlbeinbereich aus.

Die Korrelation von proximalen oder distalen Konturveränderungen mit dem Themenkomplex der Podotrochlose wird sehr unterschiedlich beurteilt. WINTZER (1964) und NUMANS (1973) sehen kleine Veränderungen an den Strahlbeinrändern als altersentsprechende Formvariante an und dementieren ihre Bedeutung im Geschehen der Podotrochlose, während sie von VERSCHOOTEN (1989) und WIDMER (2000) als Anzeichen der Podotrochlose gewertet werden.

### 3 Eigene Untersuchungen

#### 3.1 Material

In der Zeit vom 01.10.2009 bis zum 01.02.2010 wurden in einer Zusammenarbeit der TOMOVET®-GmbH in Soltau (Institut für Radiologie in der Veterinärmedizin) und der Tierklinik Wieda Grund 100 distale Gliedmaßenpaare 51 getöteter Pferde röntgenologisch und computertomographisch untersucht. Um die bildgebenden Befunde verifizieren zu können, wurden anschließend ausschliesslich die entsprechenden Extremitäten präpariert, gegebenenfalls mazeriert und photographisch dokumentiert, an denen zuvor röntgenologisch oder computertomographisch Befunde erhoben werden konnten.

Die Präparate stammten zum überwiegenden Teil aus einem niedersächsischen Schlachthof im Bremer Raum. Es handelte sich vornehmlich um Warmblutpferde des Zuchtgebietes Hannover mit einem Durchschnittsalter von 15 Jahren. Es wurden die Gliedmaßen von 43 Warmblutpferden, 7 Ponys und 1 Kaltblutpferd (Tabelle 3) untersucht. Unter den Warmblütern befanden sich 2 Absetzer. Weitere Informationen bezüglich des Geschlechts, der Nutzung und des Vorberichts/ Schlachtgrundes wurden nicht erhoben. Aufgrund des Mangels an anamnestischen Fakten stellen die Ergebnisse des röntgenologischen und computertomographischen Bildmaterials pathologische Zufallsbefunde einer Stichprobe einer beliebigen Warmblutpopulation dar. Drei Pferde wurden postmortem aus dem klinikeigenen Patientenmaterial zur Verfügung gestellt, wobei es sich bei zweien von ihnen nur um die Vorderbeine handelte (Tabelle 4). So kam es insgesamt zu einer Untersuchung von 102 Vorderextremitäten und 98 Hinterextremitäten.

#### Verteilung des Patientenmaterials

Tabelle 3: Verteilung des Pferdemarkmaterials

Warmblüter	43 (davon 2 Absetzer)	84,3 %
Kaltblüter	1	2 %
Ponys	7	13,7 %

#### Patientendaten

Tabelle 4: Daten des klinikeigenen Pferdemarkmaterials

Nr.	Gliedmaßen	Vorbericht	Todesursache
15	VL, VR	„Podotrochlose“	Spontan
56	VL, VR	chron. Hufrehe	Euthanasie
61	VL, VR, HL, HR	LH vorne bds., später Hufrehe	Euthanasie nach Femur-fraktur

Die Gliedmaßen wurden unmittelbar postmortem im Schlachthof im Karpal- oder Tarsalgelenk abgesetzt und bei -18 °C in physiologischer Gliedmaßenstellung bis zur weiteren Untersuchung in Gefrierkammern gelagert. Um eine bessere Übersicht zu gewährleisten, wurden die Pferde mit fortlaufenden Nummern versehen. Dies erfolgte für die röntgenologische sowie computertomographische Untersuchung getrennt.

## **3.2 Methode**

### **3.2.1 Röntgenologische Untersuchung**

Die röntgenologische Untersuchung erfolgte in der Tierklinik Wieda Grund nach den Regeln des Strahlenschutzes gemäß der Röntgenverordnung. Die Befunderhebung am Hufgelenk und an den Strahlbeinen erfolgte gemäß dem RÖLF 2007 nach den einzelnen Klassifizierungskriterien der lateralen und der dorsopalmarischen Projektion auf dem Oxspring-Klotz.

Die Gliedmaßen wurden mittels einer aus Holz gefertigten Haltevorrichtung positioniert. Die Gliedmaßen konnten dabei in physiologischer Stellung errichtet werden, ohne dass eine Person diese manuell fixieren musste. Somit wurden nur bei gegebener Abweichung von der physiologischen Stellung die Gliedmaßen von Hand entsprechend des Zentralstrahls ausgerichtet. Es zeigte sich allerdings, dass eine Druckausübung auf das Bein benötigt wurde, um eine annähernd physiologische Belastung der Gelenke nachzuahmen. Diese Kraftausübung erfolgte manuell außerhalb des eingblendeten Bereichs. Der Studie entsprechend wurden, in Anlehnung an den Röntgenleitfaden 2007 der Gesellschaft für Pferdemedizin und der Bundestierärztekammer, nur Zehe 90°- und Oxspring-Aufnahmen angefertigt.

Zum Einsatz kam das mobile DR-System Scope-X der GIERTH X-Ray international GmbH. Das System synchronisiert über ein Triggerkabel die Canondetektorplatte, optional Canon CXDI-60C oder 60G, mit dem Röntgengerät TR 90/30 der Firma GIERTH Ray international GmbH. Ein Lenovo ThinkPad W700 Notebook kam kombiniert mit einer Bildbearbeitungs-Software zur optimalen Darstellung der Röntgenbilder und einer DICOM/PACS®vet gestützten Dokumentations-/Befundsoftware zur Anwendung. Als Standardeinstellungen des Gerätes haben sich 80 kV und 0,05 mAs bewährt und wurden für diese Studie übernommen. Der entscheidende Vorteil ergab sich für die Studie aus der Möglichkeit, die Bilder vorab bezüglich der Qualität und Technik zu optimieren und wenn es nötig war, diese gegebenenfalls zu wiederholen.

Die Gliedmaßen wurden für die Untersuchung kurzfristig bei Raumtemperatur über Nacht aufgetaut. Anschließend wurden ggf. die Hufeisen abgenommen und die Hufe vor allem für die Oxspring-Aufnahmen nach mehrfach beschriebener Technik vorbereitet (DIK 2001, DYSON 2008, UELTSCHI 2002). Der Sohlenbereich wurde ausgeschnitten und gesäubert und im Anschluss die Strahlfurchen mit Fassdichte ausgefüllt, um die Abbildung von Luft in diesen zu verhindern. Zur röntgenologischen Darstellung des Strahlbeines im dorsopalmarischen Strahlengang nach Oxspring (OXSPRING 1935) wurde ein mit Plexiglas überzogener Untersuchungsblock verwendet. Die Platte wurde senkrecht hinter den Huf gestellt. Der durch das Röntgensystem gemessene Fokus-Filmabstand betrug einheitlich 75 cm.

Um Veränderungen der Projektion des Strahlbeins auf das Kronbein zu minimieren, wurde versucht, die zu untersuchende Gliedmaße stets in ungefähr gleicher Höhe mit dem theoreti-



schen Standbein der anderen Seite zu halten (Hertsch und Zeller 1976). Gleichzeitig wurde bei auf den Kronsaum horizontal eintreffendem Zentralstrahl versucht, die Sehnengleitfläche des Strahlbeines parallel zur im rechten Winkel gestellten Kassette auf dieser abzubilden. Für die lateromediale Projektion (90°-Aufnahme) wurde die entsprechende Gliedmaße auf die oben beschriebene bodenparallele ca. 3 cm hohe Holzkonstruktion gestellt. Gemäß der 90° Übersichtsaufnahme wurde der Zentralstrahl auf Höhe des Krongelenkes mittig ausgerichtet, im rechten Winkel einfallend auf die von der medialen Seite gestellte Kassette (SCHEBITZ und WILKENS 1986). Die Aufnahmetechnik erfüllt somit alle Kriterien einer geforderten Übersichtsaufnahme.

Nach Anfertigung der Aufnahmen wurden diese im DICOM/PACS®vet gespeichert. Auf Wunsch können diese dann zusätzlich auf DVD extrahiert werden. Die Kennzeichnung der Aufnahmen wurde wie im Röntgenleitfaden 2007 beschrieben vorgenommen. Jedes Pferd erhielt seine Studiennummer, die Seitenzeichen wurden entsprechend der Angaben der Literatur (HERTSCH und ZELLER 1976) sowie des Röntgenleitfadens 2007 von der Körpermitte abgewandt angebracht.

### **3.2.2 Computertomographische Untersuchung**

Die Akquirierung der CT-Datensätze erfolgte fast ausschließlich am selben Tag, um ein erneutes Einfrieren und Auftauen der Extremitäten zu umgehen. Die Untersuchung wurde mit einem Toshiba Aquilion 16-zeiligen Spiral Computertomographen der Tomovet® GmbH durchgeführt. Es handelt sich dabei um einen humanmedizinischen Computertomographen der 3. Generation mit einer stationären Gantry. Der Durchmesser der Gantry beträgt beim Aquilion 60 cm. Gearbeitet wurde mit einer 256 x 256er Matrix. Die Dicke der einzelnen Schichten lässt sich bei den Rekonstruktionen von 0,5 bis 1 mm variieren, primäre helikale Schichten können mit 1 bis 5 mm akquiriert werden.

Eine speziell für die Studie angefertigte PVC-Röhrenkonstruktion ermöglichte es, die Daten aller vier Gliedmaßen eines Pferdes mit nur einem Scan zu akquirieren. Zudem wurde ein hygienisches und dennoch artefaktfreies Produkt benötigt. Die Konstruktion bestand aus vier über ein Holzkreuz verbundenen PVC-Röhren, welche auf je einer Seite einen Deckel trugen, auf der jeweils freien Seite konnten sie mit den Gliedmaßen befüllt und verschlossen werden. Um für die spätere 3D-Rekonstruktion eine deutlichere Dichtedifferenz gegenüber der Gliedmaßen zu akzentuieren, wurden im Bereich des dorsalen Fesselkopfes Haushaltschwämme mit LeukoTape® befestigt, um ein Aufliegen des Fesselkopfes auf der PVC-Röhre während der horizontalen Lagerung zu verhindern. Es stellte sich heraus, dass dies eine deutliche Erleichterung in späteren Arbeitsschritten bzgl. der Rekonstruktionen lieferte, da sich die Gliedmaßen aufgrund der geringen Dichtedifferenz zur PVC-Röhre optisch schlecht von dieser trennen ließen. Zudem wurde lateral in der weißen Linie eines jeden Hufes optional je eine bis vier Heftzwecken in das Horn eingebracht, um bei den späteren Rekonstruktionen einzelner Hufe zu wissen, um welchen Huf es sich dabei handelte. Vorne links entsprach einer Heftzwecke, vorne rechts zwei Heftzwecken, hinten links dreien und hinten rechts vierein. Somit war nach Übertragung der einzelnen Scans auf die Workstation eine Identifizierung der einzelnen Gliedmaßen möglich. Bei den Rekonstruktionen wurden

die Heftzwecken im Sinne der Kennzeichnungspflicht und für die Übersicht auf dem Bild belassen.

Für den Scanvorgang wurde die PVC-Röhre mit einem Satz Gliedmaßen befüllt. Hierbei war darauf zu achten, dass die Extremitäten stets in derselben Reihenfolge in der Röhre zuliegen kamen. Die Orientierung an den Heftzwecken erwies sich auch hier als hilfreich. Da der Abtastvorgang der Röhre von distal nach proximal fortlief, war es wichtig, stets den proximalen Teil der Gliedmaße bis zum Deckel der Röhre vorzuschieben. Die Hufspitzen wurden dann im freien Teil der Röhre entsprechend der anderen Gliedmaßen ausgerichtet, um sie für die späteren Rekonstruktionen dann ungefähr in einer Ebene beurteilen zu können. Zusätzlich bediente man sich des Lichtvisiers des Gerätes, um stets die gleiche Positionierung festzulegen. Die in der Gantry montierten Lichtvisiere erleichterten eine exakte Positionierung des zu untersuchenden Gliedmaßenabschnitts im Messfeld. Eine optimale Ausrichtung ist auch vor allem dann wichtig, wenn später Aussagen über symmetrische oder parallele Veränderungen in bestimmten Bereichen getroffen werden sollen. Nach Positionierung der Röhre auf der Patientenliege, stets mit der offenen Seite der Röhre in Richtung des Tischvorschubs, wurden die Patientendaten eingegeben. Hier erfolgte die Nummerierung kontinuierlich. Das Lichtvisier wurde immer an der Deckel tragenden Seite der Röhre eingestellt. Für das Topogramm, das einer Übersichtsröntgenaufnahme gleich kommt, wurde der Tisch stets an die Anfangsposition gefahren. Das Topogramm wurde als anteriorer-posteriorer Scan arretiert. Anhand des Topogramms werden die einzelnen Scanbereiche (Range) und notwendigen Parameter eingestellt. Das erste Bild, das akquiriert wurde, diente als Grundlage, um den Bildausschnitt (FOV) zu wählen und anschließend die Einstellungen spezifisch anzupassen. Als Scanparameter kamen 120 kV, 75 mAS, 0,5 mm Schichtdicke und ein Pitch von 1,44 und ein D-FOV mit 240,0 (s) zum Einsatz. Anschließend wurden die Daten rekonstruiert und auf die Vitrea®-Workstation übertragen.

Die röntgenologisch und computertomographisch akquirierten Daten wurden von zwei Untersuchern in je zwei Durchgängen gleichzeitig ausgewertet. Anschließend wurden die erhobenen Befunde mit den Betreuern dieser Arbeit nachkontrolliert. Für jedes Pferd wurde ein Befundungsbogen, jeweils getrennt für die röntgenologische Untersuchung und die computertomographische Untersuchung, erstellt.

### **3.2.3 Befundung der akquirierten Daten**

Die Befundung der Röntgenbilder erfolgte an einem externen, hochauflösenden Befundungsmonitor. Der Röntgenleitfaden 2007 diente als Grundlage für die Beurteilung der Röntgenaufnahmen. Zusätzlich wurde die neue Röntgen-CD (RoekA 4.0) bei fragwürdigen Befunden unterstützend verwendet. Für die Befundung des Hufgelenk-/Strahlbeinbereichs (HG/SB) kommen folgende Punkte des RöLF 2007 in Betracht: 1.11 (Tabelle 5), 1.7 (Tabelle 6), 1.9 (Tabelle 7) sowie 2.1 (Tabelle 8).

### 1.11 Hufgelenk 90°

Tabelle 5: Befundungsschlüssel für röntgenologische Veränderungen am Hufgelenk. 90°-Aufnahme (RöLF 2007)

1.11	Hufgelenk 90°	Rö-Kl.
1.11.1	Gelenkspalt gleichmäßig	I
1.11.2	Konturveränderung an der Huf- oder Kronbeinfläche	III-IV
1.11.3	Strukturveränderung im subchondralen Gelenkflächenbereich	III-IV
1.11.4	Zubildungen Kronbein Randwulst dorsal	II-III
1.11.5	Zubildungen Kronbein Randwulst palmar und/oder Strahlbein Margo prox.	III-IV
1.11.6	Zubildungen dorsal auf der Kronbeinkontur, unregelmäßig, rau	III-IV

### 1.7 Processus extensorius 90°

Tabelle 6: Befundungsschlüssel für röntgenologische Veränderungen am Processus extensorius. 90°-Aufnahme (RöLF 2007).

1.7	Processus extensorius	Rö-Kl.
1.7.1	rund, schmal	I
1.7.2	breit, eckig, kantig, spitz (kein Randwulst), zweigipfelige Kontur, glatt	II
1.7.3	spitz ausgezogener Randwulst	II-III
1.7.4	Mehrfach spitzzackig	II-III
1.7.5	isolierte Verschattung mit unterschiedlicher Deutung	II-III
1.7.6	isolierte Verschattung mit unterschiedlicher Deutung und geringen Zubildungen dorsal an Huf- und Kronbein	III
1.7.7	Aufhellungslinie an der Basis	IV

### 1.9 Strahlbein 90°

Tabelle 7: Befundungsschlüssel für röntgenologische Veränderungen am Strahlbein. 90°-Aufnahme (RöLF 2007)

1.9	Strahlbein 90°	Rö-Kl.
1.9.1	Sklerosierung der Spongiosa (unsicherer Befund, ergänzende Aufnahmen empfehlenswert)	III-VI
1.9.2	Osteoporose der Spongiosa	II-III
1.9.3	Zubildungen (oder isolierte Verschattung) am Strahlbeinseitenende oder im Bereich des proximalen Randes	II-III
1.9.4	zentrale Delle (flache Konkavität) des Sagittalkammes	I
1.9.5	Usur, zentraler Einbruch (scharf begrenzter Defekt)	IV
1.9.6	zystoider Defekt	IV
1.9.7	Randexostosen Strahlbein-Hufbein Hilfgelenkfläche	II-III
1.9.8	deutliche Diskrepanz der Befunde rechts/links	II-III

## 2.1 Strahlbein 0°

Tabelle 8: Befundungsschlüssel für röntgenologische Veränderungen am Strahlbein. Oxspring-Aufnahme 0° (RöLF 2007)

2.1	Strahlbein 0°	Rö-Kl.
2.1.1	Deutliche Diskrepanz im Vergleich der Befunde rechts/links bezüglich Größe	II-III
2.1.2	deutliche Diskrepanz im Vergl. der Befunde rechts/links bezügl. Form des Strahlbeins	II-III
2.1.3	deutliche Diskr im Vergl. der Befunde rechts/links. bezügl. Form u. Anzahl der Canales	II-III
2.1.4	Anzahl der Canales sesamoidales distales im zentralen geraden Teil	I
2.1.5	Lage der Canales proximal	III
2.1.6	Lage der Canales distal/zentral	I
2.1.7	Lage der Canales Übergangsbereich zum schrägen Seitenteil	II-III
2.1.8	Lage der Canales im schrägen Seitenteil	III-IV
2.1.9	Länge der Canales über ¼ der Strahlbeinbreite	II
2.1.10	Form der Canales schmal, spitz, breit, konisch oder zylindrisch	I-II
2.1.11	Form der Canales kleinkolbig (bis Senfkorngröße)	II-III
2.1.12	Form der Canales großkolbig (Pfefferkorngröße und mehr)	III-IV
2.1.13	Form der Canales verzweigt (y-förmig)	III-IV
2.1.14	Struktur grobmaschig total	II-III
2.1.15	Struktur grobmaschig partiell	III
2.1.16	Struktur osteoporotisch (Atrophie der Struktur)	II-III
2.1.17	Struktur sklerosiert	III
2.1.18	Struktur zentrale Aufhellung (zystoider Defekt), Kontrollaufnahme empfohlen	IV
2.1.19	Struktur zentrale Aufhellung (Einbruch), Kontrollaufnahme empfohlen	IV
2.1.20	Struktur Aufhellungslinien, Deutung als Fraktur, Ossifikationsstörung (Artefakte ausschließen), Kontrollaufnahme empfohlen	IV
2.1.21	Kontur-Zubildungen Seitenenden spitz	III
2.1.22	Kontur-Zubildungen proximal	II-III
2.1.23	Kontur-Zubildungen distal am Übergang zum schrägen Seitenteil	II-III
2.1.24	Kontur-Zubildungen isolierte Verschattung am Übergang zum schrägen Seitenteil	II-III

Für die Bearbeitung der CT-Datensätze wurde die Vitrea®Workstation benutzt. Mittels dieser Software sind Visualisierungen von anatomischen Beziehungen sowie multiplanare Reformatierungen (MPRs) möglich. Aus den gewonnenen Daten wurden in anschließenden Arbeitsschritten multiplanare und 3D-Rekonstruktionen errechnet. Alle Gliedmaßen wurden in den axialen, sagittalen und coronaren Rekonstruktionen ausgewertet. Stets erfolgte die Befundung von distal nach proximal. In Einzelfällen wurde bei speziellen Befunden zur besseren anatomischen Vorstellbarkeit und räumlichen Orientierung eine 3D-Oberflächen-

rekonstruktion erstellt. Diese bietet die Möglichkeit, das Hufbein oder Strahlbein isoliert und aus allen Blickwinkeln darzustellen. Die aus den Daten des Weichteilfilters bei einer Fensterweite von 250 HE und einer Fensterlage von 450 HE erstellten 3D-Oberflächenrekonstruktionen liefern zwar eine eindrucksvolle Übersicht, zur Diagnostik werden jedoch üblicherweise die MPRs herangezogen. Um die Vorteile der Knochendarstellung im CT bestmöglich zu nutzen, wurde die MPR anhand des Knochenfilters (FC 30) erstellt. Die Fensterbreite liegt bei 2500 HE und die Fensterlage bei 850 HE. Zum Vergleich wurde in Zweifelsfällen ein Weichteilfilter (FC 11) benutzt, um Veränderungen in entsprechenden Geweben darzustellen. Hier liegt die Fensterbreite bei 250 HE und die Fensterlage bei 450 HE. Die angefertigten und befundeten vier Gliedmaßen eines Pferdes wurden anschließend als ein Datensatz im DICOM/PACS® archiviert. Zusätzlich wurden von spezifischen Befunden und vor allem in der 3D-Rekonstruktion so genannte „Snapshots“ gespeichert, die im Bedarfsfall auf Photopapier ausgedruckt werden konnten.

Die Auswertung der CT-Befunde erfolgte in Anlehnung an den Röntgenleitfaden jeweils in mindestens zwei Durchgängen. Es wurde ein CT-Befundbogen für den Hufgelenksbereich (Tabelle 9) und das Strahlbein (Tabelle 10) erstellt, der sich an der Einteilung des RöLF 2007 orientierte. Die Speicherung der Daten erfolgte auf der Vitrea®Workstation auf einem eigenen Speicher sowie zusätzlich auf externen Speichermedien.

#### CT-Befundbogen Hufgelenk und Hufbein

Tabelle 9: CT-Befundungsbogen für den Hufgelenkbereich

Lokalisation	Befund		Vb	Hb	Gesamt
<b>Hufgelenk</b>					
Facies articularis Hb	Struktur	subchondraler Defekt			
Distale Kronbein-epiphyse	Struktur	subchondraler Defekt			
		zystoider Defekt			
	Kontur	Zubildungen (Schale)			
		Isolierte Verschattung			
<b>Hufbein</b>					
	Struktur	zystoider Defekt			
	Kontur	Zubildungen proximal (Schale)			
		Hutkrempe			
<b>Processus extensorius</b>					
	Struktur	Aufhellung			
		Fraktur			
	Kontur	Ausziehung (spitz)			
<b>Processus palmaris</b>		Fraktur			

## CT-Befundbogen Strahlbein

Tabelle 10: CT-Befundungsbogen für den Strahlbereich

Befund			Vb	Hb	Gesamt
<b>Kanäle</b>	- 3	- Sklerosierung			
		+ Sklerosierung			
	4 – 7	- Sklerosierung			
		+ Sklerosierung			
		über 1/2 der Breite			
	Proximal				
	im schrägen Seitenteil (sST)				
<b>Struktur</b>	Grobmaschig				
	Osteoporotisch				
	Sklerosiert				
	punktförmige Aufhellungen				
	mondsichelförmige Aufhellung im Sagittal- kamm (SK)				
	zystoide Defekte	1			
		>1			
	Einbrüche	1			
		>1			
	Fraktur				
<b>Kontur</b>	Veränderung	prox. Rand			
		dist. Rand			
<b>Zubildungen</b>	Ausziehung	prox. Rand			
		dist. Rand			
		sST			
	Randexostosen	zur Facies articularis des HB			
		zur Facies articularis des KB			
	Fragment	prox. Rand medial			
		prox. Rand lateral			
		dist. Rand medial			
		dist. Rand lateral			
	Verkalkung	SHB			
		FSHB			

### **3.2.4 Verifizierung der Daten**

Um die röntgenologisch und computertomographisch erhobenen Befunde zu verifizieren, wurden die Beine im Anschluss an die Bildgebung und deren Befundung morphologisch untersucht. Einer Präparation folgte ggf. eine Mazeration. Dies gilt als Eigenkontrolle der Methode dieser Arbeit. Es wurden ausschliesslich die entsprechenden Extremitäten eröffnet, an denen zuvor röntgenologisch oder computertomographisch Befunde erhoben werden konnten. Bei der Präparation wurden Gelenkdefekte, isolierte Knochen-/Knorpelfragmente und Frakturen freigelegt und anschließend photographiert. Knochen, an denen Kontur-/Strukturveränderungen befundet wurden, wurden durchschnittlich über 18 Stunden bei 100 °C Celsius abgekocht und die einzelnen Knochenteile im Anschluss eine Woche getrocknet. Schlussendlich wurden alle Befunde mit einer 10-Megapixel-Digitalkamera der Firma Pentax photographisch dokumentiert. Das photographische Bildmaterial wurde auf SD-Speicherkarten archiviert.

Jedes Pferd erhielt somit abschließend einen Ordner, in dem das Bildmaterial der röntgenologischen Untersuchung und der CT-Untersuchung tabellarisch miteinander verglichen werden konnte.

### **3.2.5 Klassifizierung des Pferdmaterials**

Im Rahmen dieser Studie wurden an jeder Gliedmaße die Einzelbefunde der entsprechenden Bereiche anhand der korrespondierenden Klassen I-IV und der Zwischenklassen I-II, II-III und III-IV bewertet und das Pferd anschließend gemäß dem RÖLF 2007 nach seinem schlechtesten Einzelbefund der jeweils höchsten Röntgenklasse zugeordnet. Im Hinblick auf die Fragestellung zur Überprüfung der Darstellbarkeit ossärer Veränderungen mittels der Standardaufnahmen des RÖLF 2007, wird die Klassifizierung der Röntgenklasse als ausreichend eingestuft, wenn sich die Röntgenklasse nach der CT-Untersuchung entweder nicht oder nur um eine halbe Klasse verändert. Dieser Befund ergab sich aus der Region des Hufgelenk-/Strahlbeinbereichs oder aufgrund der Befunde im Bereich des Fesselkopfes, wobei die analog der hier vorgestellten Studie entwickelte Arbeit zum Fesselkopfbereich hier nicht beschrieben wird. Die Klassifizierung anhand des Gesamtbildes entspricht aber dem Verfahren bei der Ankaufuntersuchung und sollte so gut wie möglich berücksichtigt werden. Anschließend wurde das Pferd speziell anhand der für diese Studie im Bereich des HG/SB schlechtesten Befunde entsprechend der Aufgabenstellung klassifiziert.

Es folgte der Vergleich der röntgenologischen Befunde im HG/SB mit den Befunden der CT-Untersuchung. Befunde, die im CT zusätzlich detektiert wurden, wurden in Anlehnung an den RÖLF 2007 klassifiziert. Konnte für einen computertomographischen Befund im RÖLF 2007 kein entsprechendes Äquivalent gefunden werden, wurde dieser Befund gesondert hervorgehoben und ging nicht in die abschließende Beurteilung mit ein.

Anhand der im CT akquirierten Daten wurde das Pferd jeweils einer neuen Klassifizierung unterzogen und konnte sich in seiner Röntgenklasse entweder verschlechtern, verbessern oder blieb unverändert. Die Datenanalyse hat ausschließlich einen deskriptiven Charakter. Es werden lediglich Gesamtheiten aufgezeigt, analysiert und diskutiert.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Häufigkeit der röntgenologischen Befunde

Im Folgenden wird die prozentuale Befundung der einzelnen Befunde bezogen auf die Gesamtgliedmaßenanzahl tabellarisch dargestellt. Eine Unterteilung in Vorder- und Hinterbeine ist dabei gemäß dem RÖLF 2007 nicht vorgenommen worden.

Für den Einzelbefund kann sich ggf. eine doppelte Gewichtung ergeben, wenn der Befund sowohl in der lateralen als auch in der Oxspring-Aufnahme zu beurteilen war.

#### Hufgelenk 90°

Tabelle 11: Häufigkeitsverteilung der Einzelbefunde im Hufgelenkbereich im lateromedialen Strahlengang

1.11	Hufgelenk 90°	Rö-Kl.	Anzahl (AZ) (n=200)	%
1.11.1	Gelenkspalt gleichmäßig	I	-	-
1.11.2	Konturveränderung an der Huf- oder Kronbeinfläche	III-IV	1	0,5
1.11.3	Strukturveränderung im subchondralen Gelenkflächenbereich	III-IV	1	0,5
1.11.4	Zubildungen Kronbein Randwulst dorsal	II-III	3	1,5
1.11.5	Zubildungen Kronbein Randwulst palmar und/oder Strahlbein Margo prox.	III-IV	0	0
1.11.6	Zubildungen dorsal auf der Kronbeinkontur, unregelmäßig, rau	III-IV	6	3,0

Die Verteilung der verschiedenen Befunde im Hufgelenkbereich sind Tabelle 11 zu entnehmen. Die Gliedmaßen, die einen gleichmäßigen Gelenkspalt aufwiesen und gemäß RÖLF 2007 mit der Röntgenklasse I klassifiziert werden, wurden nicht mit aufgeführt, da sich für die Fragestellung der Arbeit keine Relevanz ergibt. Da die 90°-Aufnahme der Zehe gemäß dem RÖLF 2007 eine Übersichtsaufnahme ist, ist eine orthograde Darstellung des Hufgelenks ohnehin nicht immer möglich. Die Beurteilung des Gelenkspaltes entzieht sich somit häufig der Bewertung.



### Processus extensorius 90°

Tabelle 12: Häufigkeitsverteilung der Einzelbefunde am Processus extensorius im lateromedialen Strahlengang

<b>1.7</b>	<b>Processus extensorius</b>	<b>Rö-Kl.</b>	<b>AZ (n=200)</b>	<b>%</b>
<b>1.7.1</b>	rund, schmal	I	-	-
<b>1.7.2</b>	breit, eckig, kantig, spitz (kein Randwulst), zweigipfelige Kontur, glatt	II	68	34,0
<b>1.7.3</b>	spitz ausgezogener Randwulst	II-III	3	1,5
<b>1.7.4</b>	mehrfach spitzzackig	II-III	6	3,0
<b>1.7.5</b>	isolierte Verschattung mit unterschiedlicher Deutung	II-III	0	0,0
<b>1.7.6</b>	isolierte Verschattung mit unterschiedlicher Deutung und geringen Zubildungen dorsal an Huf- und Kronbein	III	6	3,0
<b>1.7.7</b>	Aufhellungslinie an der Basis	IV	1	0,5

Die Anzahl der einzelnen Befunde im Bereich des Processus extensorius ist Tabelle 12 zu entnehmen. Ein runder, schmaler P. e. (1.7.1, Rö-Kl. I) wurde aufgrund mangelnder Relevanz für die Fragestellung der Arbeit nicht befundet. Letztlich stellt er die Differenz zu den unter 1.7.2-1.7.7 erfassten Befunden dar, im Sinne einer anatomischen Formvariante bzw. des Idealzustandes.

## Strahlbein 90°

Tabelle 13: Häufigkeitsverteilung der Einzelbefunde des Strahlbeins im lateromedialen Strahlengang

<b>1.9</b>	<b>Strahlbein 90°</b>	<b>Rö-Kl.</b>	<b>AZ (n=200)</b>	<b>%</b>
<b>1.9.1</b>	Sklerosierung der Spongiosa	III-IV	2	1,0
<b>1.9.2</b>	Osteoporose der Spongiosa	II-III	0	0,0
<b>1.9.3</b>	Zubildungen (oder isolierte Verschattung) am Strahlbeinseitenende oder im Bereich des proximalen Randes	II-III	19	9,5
<b>1.9.4</b>	zentrale Delle (flache Konkavität) des Sagittalkammes	I	6	3,0
<b>1.9.5</b>	Usur, zentraler Einbruch (scharf begrenzter Defekt)	IV	0	0,0
<b>1.9.6</b>	zystoider Defekt	IV	1	0,5
<b>1.9.7</b>	Randexostosen Strahlbein-Hufbein Hilfgelenkfläche	II-III	2	1,0
<b>1.9.8</b>	deutliche Diskrepanz der Befunde rechts/links	II-III	0	0,0

Tabelle 13 zeigt die röntgenologischen Befunde des Strahlbeins der lateromedialen Projektion.

## Strahlbein 0°

Tabelle 14: Häufigkeitsverteilung der Einzelbefunde im Strahlbeinbereich im dorsopalmaren Strahlengang

2.1	Strahlbein 0°	Rö-Kl.	AZ (n=102)	%
2.1.1	deutliche Diskrepanz im Vergleich der Befunde rechts/links bezüglich Größe	II-III	0	0
2.1.2	deutliche Diskrepanz im Vergl. der Befunde rechts/links bezügl. Form des Strahlbeins	II-III	9	17,65
2.1.3	deutliche Diskrepanz im Vergl. der Befunde rechts/links bezügl. Form u. Anzahl der Canales	II-III	11	21,57
2.1.4	Anzahl der Canales sesamoidales distales im zentralen geraden Teil	I	-	-
2.1.5	Lage der Canales proximal	III	7	6,86
2.1.6	Lage der Canales distal – zentral	I	-	-
2.1.7	Lage der Canales Übergangsbereich zum schrägen Seitenteil	II-III	42	41,18
2.1.8	Lage der Canales im schrägen Seitenteil	III-IV	16	15,69
2.1.9	Länge der Canales über ¼ der Strahlbeinbreite	II	12	11,76
2.1.10	Form der Canales schmal, spitz, breit, konisch oder zylindrisch	I-II	70	68,63
2.1.11	Form der Canales kleinkolbig (bis Senfkorngroße)	II-III	24	23,53
2.1.12	Form der Canales großkolbig (Pfefferkorngroße und mehr)	III-IV	16	15,69
2.1.13	Form der Canales verzweigt (y-förmig)	III-IV	11	10,78
2.1.14	Struktur grobmaschig total	II-III	4	3,92
2.1.15	Struktur grobmaschig partiell	III	4	3,92
2.1.16	Struktur osteoporotisch (Atrophie der Struktur)	II-III	0	0
2.1.17	Struktur sklerosiert	III	7	6,86
2.1.18	Struktur zentrale Aufhellung (zystoider Defekt), Kontrollaufnahme empfohlen	IV	1	0,98
2.1.19	Struktur zentrale Aufhellung (Einbruch), Kontrollaufnahme empfohlen	IV	4	3,92
2.1.20	Struktur Aufhellungslinien, Deutung als Fraktur, Ossifikationsstörung (Artefakte ausschließen) Kontrollaufnahme empfohlen	IV	0	0
2.1.21	Kontur-Zubildungen Seitenenden spitz	III	0	0
2.1.22	Kontur-Zubildungen proximal	II-III	6	5,88
2.1.23	Kontur-Zubildungen distal am Übergang zum schrägen Seitenteil	II-III	0	0
2.1.24	Kontur-Zubildungen isolierte Verschattung am Übergang zum schrägen Seitenteil	II-III	2	1,96

Tabelle 14 stellt die Verteilung der röntgenologischen Befunde des Strahlbeins der Oxspring-Aufnahme dar.

Geringgradige Größenabweichungen, die sich aus der Variabilität der Form ergeben, werden unter 2.1.2 miterfasst.

Diskrepanzen bezüglich der Form und Anzahl der Canales sesamoidales ergaben sich bei 11 der Gliedmaßenpaare (21,57 %, n=51). Der Röntgenleitfaden bietet bezüglich der Diskrepanzen in der Anzahl und Form der Canales sesamoidales keine genaue Definition. In dieser Arbeit wurde eine Formabweichung gemäß 2.1.10 im Gegensatz zu 2.1.11 – 2.1.13 (kleinkolbig, großkolbig, verzweigt) sowie in der Anzahl eine Diskrepanz von >3 Kanälen als relevant erachtet.

Die Pferde bzw. die einzelnen Strahlbeine können mit der Lokalisation ihrer Kanäle in allen vier Punkten (2.1.5 – 2.1.8) zum jeweiligen Befundprozentsatz beitragen. Ein Strahlbein, an dem proximale Kanäle zu beurteilen waren, kann durchaus auch Kanäle an den übrigen Lokalisationen aufweisen. Auf die Angabe von 2.1.6 (distal-zentrale Kanäle) wurde aufgrund der mangelnden Relevanz für die Fragestellung dieser Studie sowie die Erfassung dieses Befundes unter 2.1.10 (schmale, spitze, breite, konische oder zylindrische Kanäle) verzichtet.

## **4.2 Häufigkeiten der computertomographischen Befunde**

Um einem methodisch vergleichenden Anspruch gerecht zu werden, orientiert sich das Befundungsschema für die computertomographische Untersuchung an dem des RÖLF 2007. In Anlehnung an den RÖLF 2007 werden die Befunde im Hufgelenkbereich in die Kategorien Strukturdefekte, Konturveränderungen, Zubildungen, isolierte Verschattungen, im Bereich des Processus extensorius in Struktur- und Konturveränderungen, isolierte Verschattungen und Frakturen und im Strahlbeinbereich in die Kategorien Kanäle (Anzahl und Lage), Struktur- und Konturveränderungen sowie Zubildungen unterteilt.

Alle Gliedmaßen wurden erst in der axialen, dann in der sagittalen und letztlich in der coronaren Schicht beurteilt. Gegebenenfalls wurde eine 3D-Sekundärrekonstruktion vorgenommen, um spezielle Veränderungen zu veranschaulichen oder um eine bessere anatomische Orientierung zu gewinnen. Im Laufe der Auswertungen konnte gezeigt werden, welche typischen Befunde sich in welcher der drei Schichten optimal darstellen. Statistisch wurde diese Beurteilung jedoch nicht überprüft und sie wird somit am Ende nur als eine Empfehlung bezüglich der Herangehensweise an die Beurteilung eines CT-Scans mit unterschiedlichen Schichten dargestellt. Im Folgenden wird die prozentuale Befundung der einzelnen Befunde bezogen auf die Gesamtgliedmaßenanzahl tabellarisch zusammengefasst (Tabelle 15).

## Hufgelenk/Hufbein

Tabelle 15: CT-Befundungsbogen für Befunde im Hufgelenk-/Hufbeinbereich und Verteilung der Einzelbefunde

Befund			Vb (n=102)	%	Hb (n=98)	%	Gesamt (n=200)	%
<b>Hufgelenk</b>								
Facies arctiularis des HB	Struk- tur	subchondrale r Defekt	60	58,82	58	59,18	118	59
distale Kronbeinep iphyse	Struk- tur	subchondrale r Defekt	4	3,92	0	0	4	2
		zystoider Defekt	1	0,98	1	1,02	2	1
	Kontur	Zubildungen (Schale)	4	3,92	5	5,10	9	4,5
		isolierte Verschattung	2	1,96	5	5,10	7	3,5
<b>Hufbein</b>								
	Struk- tur	zystoider Defekt	6	5,88	2	2,04	8	4
		Hutkrempe	9	8,82	0	0	9	4,5
<b>Processus extensoriu s</b>								
	Struk- tur	Aufhellung	1	0,98	0	0	1	0,5
		Fraktur	5	4,90	2	2,04	7	3,5
	Kontur	Ausziehung (spitz)	4	3,92	3	3,06	7	3,5
<b>Processus palmaris</b>		Fraktur	0	0	0	0	0	0

## Strahlbein

Tabelle 16: Befundungsbogen für CT-Befunde im Strahlbeinbereich und Verteilung der Einzelbefunde

Befund				Vb (n=102)	%	Hb (n=98)	%	Gesamt (n=200)	%
<b>Kanäle</b>	- 3	- Sklero- sierung		26	25,49	37	37,76	63	31,5
		+ Sklero- sierung		3	2,94	7	7,14	10	5
	4 – 7	- Sklero- sierung		46	45,1	30	30,61	76	38
		+ Sklero- sierung		13	12,75	3	3,06	16	8
		über 1/2 der Breite		6	5,88	2	2,04	8	4
	Proximal			8	7,84	0	0	8	4
	sSt			7	6,86	2	2,04	9	4,5
<b>Struktur</b>	Grobmaschig			4	3,92	4	4,08	8	4
	Osteoporotisch			2	1,96	1	1,02	3	1,5
	Sklerosiert			41	40,2	33	33,67	74	37
	punktförmige Aufhellung			64	62,75	50	51,02	114	57
	Aufhellung im Sagittalkamm			7	6,86	19	19,39	26	13
	zystoide Defek- te	1		0	0	0	0	0	0
		>1		0	0	1	1,02	1	0,5
	Einbruch	1		5	4,90	5	5,10	10	5
		>1		3	2,94	1	1,02	4	2
	Fraktur			1	0,98	0	0	1	0,5
<b>Kontur</b>	Veränderung	prox. Rand		2	1,96	0	0	2	1

Befund				Vb (n=102)	%	Hb (n=98)	%	Gesamt (n=200)	%
		dist. Rand		2	1,96	0	0	2	1
<b>Zubildungen</b>	Ausziehung	prox. Rand		25	24,51	5	5,10	30	15
		dist. Rand		13	12,75	7	7,14	20	10
		sSt	Medial	0	0	0	0	0	0
			Lateral	1	0,98	0	0	1	1,5
	Randexostose	zur Facies articularis des HB		0	0	0	0	0	0
		zur Facies articularis des KB		1	0,98	0	0	1	0,5
	Fragment	prox. Rand	Medial	2	1,96	0	0	2	1
		prox. Rand	Lateral	1	0,98	2	2,04	3	1,5
		dist. Rand	Medial	2	1,96	0	0	2	1
		dist. Rand	Lateral	6	5,88	4	4,08	10	5
	Verkalkung	SHB		0	0	0	0	0	0
		FSHB		2	1,96	0	0	2	1

In Tabelle 16 wird die Häufigkeitsverteilung der CT-Befunde des Strahlbeinbereichs dokumentiert. Trotz der optimalen Abgrenzung von Hohlräumen gegen die spongiöse Knochen- substanz erscheint die Beurteilung von Canales sesamoidales in der Schnittbildfolge im CT insgesamt schwierig, da der gesamtheitliche Eindruck in derart vielen einzelnen Schichten nicht gegeben ist. Dies ist der Grund, weshalb auf eine Beurteilung der Form der Kanäle nicht eingegangen wurde. Bei zwei der distolateralen Fragmente handelte es sich um die Gliedmaßen des Pferdes aus dem klinikeigenen Patientengut (Tabelle 16). Röntgenologisch waren diese Fragmente nicht ersichtlich. Darüber hinaus konnten nach Beurteilung der Fragmente im Weichteilfenster zwei der proximalen Fragmente im Bereich des Fesselbein- Strahlbein-Hufbeinbandes lokalisiert werden. Zusätzlich konnte in beiden Fällen kein Mausbett differenziert werden.

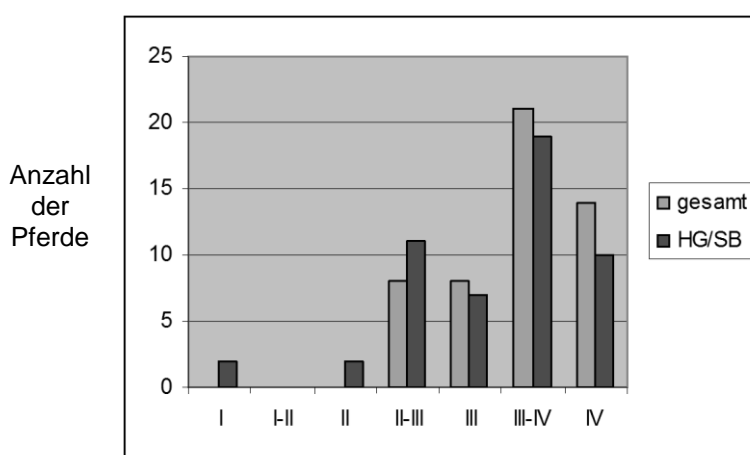
### 4.3 Klassifizierung der Pferde in Röntgenklassen vor und nach der CT-Untersuchung und Einfluss des Hufgelenk-/Strahlbeinbereichs auf die Gesamtbeurteilung

Jedes Pferd wurde gemäß dem Röntgenleitfaden (RöLF 2007) anhand seines schlechtesten Einzelbefundes mit der entsprechenden Röntgenklasse bewertet. Die Gesamtbeurteilung eines Pferdes kann somit auch auf Befunde im Bereich des Fesselgelenks zurückzuführen sein, das Gegenstand der korrespondierend angelegten Dissertation von JONES (2016) ist. In einer weiteren Einteilung bezieht sich die Klassifizierung in Röntgenklassen nur auf die Befunde des Hufgelenk-/Strahlbeinbereichs (Tabelle 17, Abbildung 1).

Die Übersicht über die verschiedenen Einteilungen eines jeden Pferdes ist der Tabelle im Anhang dieser Arbeit zu entnehmen.

Tabelle 17: Verteilung der Gesamttröntgenklassen nach der röntgenologischen Untersuchung

Rö-Kl.	Gesamt (n=51)	%	HG/SB (n=51)	%
I	0	0	2	3,92
I-II	0	0	0	0
II	0	0	2	3,92
II-III	8	15,69	11	21,57
III	8	15,69	7	13,73
III-IV	21	41,18	19	37,25
IV	14	27,45	10	19,61



Röntgenklasse gemäß RöLF 2007

Abbildung 1: Graphik zu Tab. 17

Nach der Befundung des computertomographischen Bildmaterials wurden die Pferde in Anlehnung an den RöLF 2007 neu klassifiziert. Unter Umständen konnte sich die Röntgenklasse eines Pferdes somit verschlechtern, ggf. sogar verbessern (Tabelle 18, Abbildung 2). Be-



funde, die erst durch die CT-Untersuchung detektiert wurden und im RÖLF 2007 kein entsprechendes Äquivalent beinhalten, wurden zusätzlich erfasst. Auch hier setzt sich die Gesamtbeurteilung eines Pferdes aus den CT Befunden des Fesselgelenkbereichs und des Hufgelenk-/Strahlbeinbereichs zusammen.

Tabelle 18: Veränderung der Verteilung der Röntgenklassen nach der computertomographischen Auswertung

RöKI.	Nach CT gesamt (n=51)	%	Nach CT HG/SB (n=51)	%
I	0	0	2	3,92
I-II	0	0	0	0
II	0	0	1	1,96
II-III	5	9,80	7	13,73
III	3	5,88	5	9,80
III-IV	21	41,18	16	31,37
IV	22	43,14	20	39,22

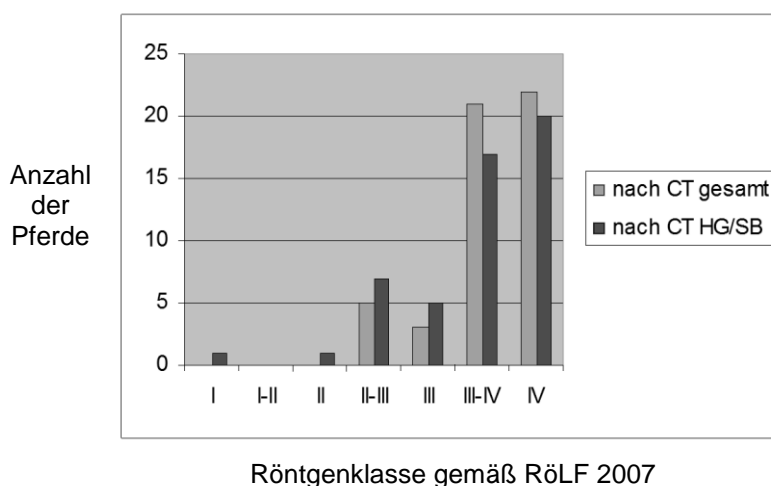


Abbildung 2: Graphische Darstellung der Tab. 18

In der Gesamtbewertung kann kein Pferd (0 %, n=51) mit der Röntgenklasse I, I-II oder II bewertet werden.

Mit 22 Pferden (43,14 %) trägt die Röntgenklasse IV den größten Anteil an der Gesamtbewertung. Im HG/SB waren dies mit 20 Pferden (39,22 %) sogar doppelt so viele wie in der röntgenologischen Untersuchung.

#### 4.4 Veränderungen der Röntgenklassen nach der computertomographischen Untersuchung Diese gehen nicht in die Gesamtbeurteilung mit ein und werden gesondert hervorgehoben.

Tabelle 19 präsentiert die Veränderungen der Klassifizierung der einzelnen Pferde nach der CT-Untersuchung. Es ist darauf hinzuweisen, dass diese Pferde unter Umständen Veränderungen aufweisen, die zwar erst durch die computertomographische Untersuchung identifiziert werden konnten, deren Klassifizierung aber anhand des Röntgenleitfadens nicht vorgenommen werden kann, da derartige Veränderungen nicht Gegenstand des Katalogs sind. Hierbei handelt es sich überwiegend um Veränderungen im Bereich der subchondralen Knochenplatte mit korrespondierenden Gelenkalterationen. Diese gehen nicht in die Gesamtbeurteilung mit ein und werden gesondert hervorgehoben.

Tabelle 19: Verteilung der Veränderungen der Klassifizierung nach der computertomographischen Untersuchung

Nach CT-Untersuchung	Anzahl (n=51)	%
Ohne Veränderung Rö-Kl. Gesamt	34	66,67
Ohne Veränderung Rö-Kl. HG-/SB	38	74,51
Verschlechterung Rö-Kl. Gesamt	15	29,41
Verschlechterung Rö-Kl. HG-/SB	13	25,49
Verbesserung Rö-Kl. gesamt	2	3,92
Verbesserung Rö-Kl. HG-/SB	0	0

Bei 66,67% der untersuchten Pferde (34 Pferde, n=51) veränderte sich die Röntgenklasse in der Gesamtbefundung der Gliedmaße nach der CT-Untersuchung nicht. In der gesonderten Betrachtung des HG/SB liegt die Häufigkeit unveränderter Röntgenklassen nach der CT-Untersuchung mit 38 Pferden sogar bei 74,51 %.

Zwei Pferde (3,92%) konnten sich in ihrer Klasse nach der CT-Auswertung sogar verbessern. Hierbei handelte es sich um Veränderungen im Fesselgelenkbereich. Anhand der Ergebnisse der CT-Untersuchung im Bereich des Hufgelenks und des Strahlbeins wurde kein Pferd in eine bessere Klasse nach RÖLF2007 eingeordnet.

Tabelle 20 stellt die Anteile der Verschlechterung pro Röntgenklasse für die gesamte Gliedmaße und gesondert für den HG/SB dar.

Tabelle 20: Verschlechterung der einzelnen Röntgenklassen

Verschlechterung der Röntgenklasse um	Gesamt (n=51)	%	HG/SB (n=51)	%
<b>½ Klassen</b>	8	15,69	7	13,73
<b>1 Klasse</b>	6	11,76	2	3,92
<b>1 ½ Klassen</b>	1	1,96	4	7,84
<b>2 Klassen</b>	0	0,0	0	0,0
<b>2 ½ Klassen</b>	0	0,0	0	0,0
<b>3 Klassen</b>	0	0,0	0	0,0

In der Befundung der gesamten distalen Gliedmaße verschlechterten sich 15,69 % der Pferde (acht Pferde, n=51) um eine halbe Röntgenklasse. In der isolierten Betrachtung des HG/SB sind es sieben Pferde (13,73%).

In Tabelle 21 ist die Veränderung der Einteilung der einzelnen Röntgenklassen bezogen auf die Beurteilung der gesamten Gliedmaße dargestellt.

Tabelle 21: Anzahl der jeweiligen Klassenveränderungen pro Gesamt-Röntgenklasse

Änderung der Rö-Kl.	Rö-Kl. I	Rö-Kl. I-II	Rö-Kl. II	Rö-Kl. II-III	Rö-Kl. III	Rö-Kl. III-IV	Rö-Kl. IV
<b>Unverändert</b>	0	0	0	4	3	15	12
<b>½</b>	0	0	0	0	2	6	1
<b>1</b>	0	0	0	3	3	0	0
<b>1 ½</b>	0	0	0	1	0	0	1
<b>2</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>2 ½</b>	0	0	0	0	0	0	0

Nur zwei der 51 Pferde wurden in eine bessere Klasse eingeteilt (Tabelle 19). In allen anderen Fällen handelt es sich bei Veränderungen der Klasse ausschließlich um Verschlechterungen der Röntgenklasse. Es ist anzumerken, dass sich Pferde der Klasse IV gemäß dem RÖLF 2007 nicht weiter verschlechtern können. In die Röntgenklasse I, I-II und II konnten weder nach der röntgenologischen noch nach der CT-Untersuchung Pferde klassifiziert werden (

Tabelle 17, Tabelle 18, Tabelle 22). Vier der acht in Röntgenklasse II-III klassifizierten Pferde veränderten sich nach CT-Untersuchung in ihrer Beurteilung nicht. Drei dieser Pferde veränderten sich um je eine Klasse. Ein Pferd veränderte sich um eineinhalb Klassen. Drei der acht in Klasse III qualifizierten Pferde veränderten ihre Klasse nach der CT-Untersuchung nicht. Zwei veränderten sich um eine halbe und drei um eine Klasse. Von den 21 Pferden, die nach der röntgenologischen Untersuchung in Klasse III-IV klassifiziert wur-

den, veränderten sich 15 nicht in ihrer Einteilung. Sechs Pferde veränderten sich um eine halbe Klasse. 12 der 14 in Klasse IV klassifizierten Pferde veränderten sich in ihrer Klasse nach der Auswertung der CT-Daten nicht. Ein Pferd veränderte sich um eine halbe und ein Pferd um anderthalb Klassen. Dies betrifft Pferde, die sich in ihrer Röntgenklasse verbesserten. In Tabelle 22 ist die Veränderung der Einteilung der einzelnen Röntgenklassen bezogen auf die Beurteilung des HG/SB dargestellt.

Tabelle 22: Anzahl der jeweiligen Klassenveränderungen pro Röntgenklasse des HG/SB

Änderung der Rö-Kl.	Rö-Kl. I	Rö-Kl. I-II	Rö-Kl. II	Rö-Kl. II-III	Rö-Kl. III	Rö-Kl. III-IV	Rö-Kl. IV
<b>Unverändert</b>	2	0	1	7	5	13	10
<b>½</b>	0	0	0	0	1	6	0
<b>1</b>	0	0	0	1	1	0	0
<b>1 ½</b>	0	0	1	3	0	0	0
<b>2</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>2 ½</b>	0	0	0	0	0	0	0

In diesem Bereich sind ausschließlich Verschlechterungen der Röntgenklassen nach der CT-Untersuchung zu verzeichnen. Es ist auch hier darauf hinzuweisen, dass sich Pferde der Klasse IV gemäß dem RÖLF 2007 nicht weiter verschlechtern können. Dies erklärt den hohen Anteil an Pferden ohne Verschlechterung der Klasse IV. Es ist jedoch nochmals auf die Veränderungen hinzuweisen, die computertomographisch detektiert wurden, für die jedoch kein entsprechendes Äquivalent im RÖLF 2007 zu finden ist (Läsionen der subchondralen Defekte der Knochenplatte (Tabelle 15) sowie Befunde aus Tabelle 25 und Tabelle 26)).

In die Röntgenklasse I-II konnte kein Pferd eingeteilt werden. Die Pferde, die im HG/SB in die Klasse I klassifiziert wurden, veränderten sich auch nach der CT-Untersuchung nicht. Mit der Klasse II konnten zwei Pferde bewertet werden, eines veränderte sich nicht, das andere verschlechterte sich um eineinhalb Klassen.

Sieben der 11 Pferde aus der Klasse II-III veränderten sich nicht in ihrer Klasse, dagegen verschlechterte sich ein Pferd um eine Klasse, die drei anderen um eineinhalb Klassen.

Fünf der sieben Pferde aus Klasse III veränderten sich nicht, während eines sich um eine halbe, das andere um eine Klasse verschlechterte.

Von 19 Pferden der Klasse III-IV behielten 13 Pferde ihre Klassifizierung auch nach der CT-Untersuchung bei, sechs verschlechterten sich um eine halbe Klasse.

Tabelle 23: Anzahl der Pferde pro veränderte Röntgenklasse im Vergleich zu den Anteilen unveränderter Pferde

<b>RöKl.</b>	<b>Pferde mit Verschlechterung der RöKl. des HG/SB nach CT</b>	<b>Pferde ohne Verschlechterung der RöKl. des HG/SB nach CT</b>
<b>I (n=2)</b>	0	2
<b>I-II (n=0)</b>	0	0
<b>II (n=2)</b>	1	1
<b>II-III (n=11)</b>	4	7
<b>III (n=7)</b>	2	5
<b>III-IV (n=19)</b>	6	13
<b>IV (n=10)</b>	0	10

Tabelle 23 zeigt innerhalb der entsprechenden Röntgenklasse die Anzahl der Pferde mit Verschlechterung der Röntgenklasse im Vergleich zu den Anteilen von Pferden ohne Verschlechterung.

#### **4.5 Vergleich der Prävalenz spezieller Befunde in der röntgenologischen und in der CT-Untersuchung**

Die Befundbögen für die Beurteilung des computertomographischen Bildmaterials wurden in Anlehnung an den RÖLF 2007 erstellt. Somit lassen sich die Prävalenzen einzelner verschiedener Befunde miteinander vergleichen. Es wird in dieser Darstellung nur auf spezielle Befunde eingegangen, um den Vorteil der Akquirierung von Volumendatensätzen zu demonstrieren.

Tabelle 24: Vergleich der Prävalenz röntgenologischer Befunde am Hufgelenk und Strahlbein gemäß RÖLF 2007 und entsprechenden CT-Befunden

Befund	Rö (absolute Anzahl der Befunde)	CT (absolute Anzahl der Befund )	AZ % (*)
<b>Hufgelenk:</b> Strukturveränderung subchondraler Gelenkflächenbereich (zystoider Defekt) (1.11.3)	1	8	12,5
Fraktur Proc.extensorius (1.7.7)	1	7	14,3
Konturzubildungen dist. KB (1.11.4)	9	9	100
Konturzubildungen prox. HB (1.11.2)	9	3	300
<b>Strahlbein:</b> Struktur grobmaschig total (2.1.14)	4	8	50
Struktur osteoporotisch (2.1.16)	0	3	0
Struktur sklerosiert (2.1.17)	7	74	9,5
Struktur zentrale Aufhellung (zystoider Defekt) (2.1.18)	1	1	100
Struktur zentrale Aufhellung (Einbruch) (2.1.19)	4	14	28,6
Struktur Aufhellungslinien (Deutung als Fraktur) (2.1.20)	0	1	0
Kontur-Zubildungen isolierte Verschattungen am Übergang zum schrägen Seitenteil (2.1.24)	2	12	16,7
Randexostosen SB/HB Hilfgelenkfläche (1.9.7)	2	0	200
Randexostosen zur Fa.des KB (1.11.5)	0	1	0
Konturveränderungen prox.Rand (2.1.22)	19	32	59,4
Konturveränderungen distaler Rand (2.1.24)	0	22	0
Kanäle sST (2.1.8)	16	9	177,7
Kanäle prox. Rand (2.1.5)	7	8	87,5
Verlängerte Kanäle (2.1.9)	12	8	150

\*prozentualer Anteil der im Röntgen gefundenen Befunde im Vergleich zum CT (%)

Tabelle 24 zeigt die computertomographischen Befunde, die ein röntgenologisches Äquivalent im RÖLF 2007 enthalten und vergleicht die Häufigkeiten dieser Befunde.

Am Hufgelenk konnten Strukturveränderungen im subchondralen Gelenkflächenbereich (RÖLF 1.11.3), die röntgenologisch gemäß RÖLF 2007 als zystoide Defekte gewertet werden, in der CT-Untersuchung häufiger dargestellt werden als in der röntgenologischen Untersuchung. Davon ausgenommen bleibt die Vielzahl an kleinen Läsionen der subchondralen Knochenplatte (118 Gliedmaßen, Tabelle 15), die nur computertomographisch zu detektieren waren.

Um Doppelbewertungen zu vermeiden, werden Befunde, die sowohl auf der lateralen als auch auf der Oxspringaufnahme zu befunden waren als ein einzelner Befund gewertet.

Betreffend der Strukturbeurteilung der Strahlbeine ist zu sagen, dass diese röntgenologisch gemäß RÖLF 2007 in total und partiell grobmaschig unterteilt wurde. Im CT wurde aufgrund der Schnittbildfolge nur eine generalisierte Grobmaschigkeit als Befund erhoben.

In der Betrachtung der Länge der Kanäle des Strahlbeins konnte im CT ebenfalls aufgrund der Schnittbildfolge nur die Länge auf  $\frac{1}{2}$  der Breite des Strahlbeins untersucht werden, in dessen dies im Röntgen mit  $\frac{1}{4}$  der Breite angegeben ist. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass verlängerte Kanäle im Vergleich zur CT Untersuchung röntgenologisch besser lokalisiert werden konnten.

Als Ergänzung zu verdeutlichen Tabelle 25 und Tabelle 26 den prozentualen Anteil röntgenologischer Befunde von im CT detektierten Veränderungen, für die keine einzelne Befundbeschreibung im RÖLF 2007 vorgesehen ist.

Der Anteil an röntgenologisch darstellbaren, isolierten Verschattungen des Hufgelenks beträgt 85,7% (Tabelle 25).

Tabelle 25: Vergleich der Prävalenz röntgenologischer und computertomographischer Befunde am Hufgelenk ohne entsprechendes Äquivalent im RÖLF 2007 in Ergänzung zu Tabelle 25

Hufbein/Hufgelenk		Rö (absolute Anzahl der Befunde)	CT (absolute Anzahl der Befunde)	AZ % (*)
<b>Isolierte Verschattungen</b>		6	7	85,7

\*prozentualer Anteil des im Röntgen gefundenen Befunds im Vergleich zum CT (%)

Isolierte Verschattungen des proximalen Randes sind im RÖLF 07 nicht erfasst (Tabelle 26).

Tabelle 26: Vergleich der Prävalenz röntgenologischer und computertomographischer Befunde am Strahlbein ohne entsprechendes Äquivalent im RÖLF 2007 in Ergänzung zu Tabelle 26

Strahlbein	Röntgen (absolute Anzahl der Befunde)	CT (absolute Anzahl der Befunde)	Anzahl % (*)
<b>Isol. Verschattungen proximaler Rand</b>	0	5	0

\*prozentualer Anteil des im Röntgen gefundenen Befunds im Vergleich zum CT (%)

#### **4.6 Veränderung der Röntgenklasseneinteilung nach hypothetischer Erweiterung des Standards um die Strahlbeintangentialaufnahme an den Vorderextremitäten und die Oxspringaufnahme an den Hinterextremitäten**

Die Befunde der CT-Untersuchung sollen als zusätzlich radiologisch erarbeitete Befunde die Befunde darstellen, die mittels einer Erweiterung der Standardaufnahmen um die Strahlbeintangentialaufnahme an den Vorderbeinen und die Oxspringaufnahme an den Hinterbeinen, hätten detektiert werden können. Hierzu wurden zwei hypothetische Modellbetrachtungen durchgeführt.

Mit der hypothetischen Durchführung einer Strahlbeintangentialaufnahme an den Vorderextremitäten sollen die Veränderung des Informationsgehaltes durch eine weitere Projektion hinsichtlich der Detektion dieser Veränderungen und ihr Einfluss auf die Gesamtbeurteilung dargestellt werden (Tabelle 27, Tabelle 28, Tabelle 29). Die These ist, dass mittels der Tangentialaufnahme alle zystoiden Defekte und Einbrüche diagnostiziert werden können. Von acht im CT zusätzlich gefundenen zystoiden Defekten (mit und ohne Durchbruch der Knochengrenzlamelle), sind zwei an den Vorderextremitäten lokalisiert. In einer weiteren hypothetischen Berechnung soll die Veränderung des Informationsgehaltes durch die Erweiterung des Standards um eine Oxspringaufnahme an den Hinterextremitäten dargestellt werden (Tabelle 30, Tabelle 31, Tabelle 32). Die These ist hier, dass mittels der Oxspringaufnahme am Hinterbein alle zystoiden Defekte gefunden werden können.

Wird die gesamte distale Gliedmaße beurteilt, so verändern sich nach hypothetisch angefertigter Strahlbeintangentialaufnahme nur die Klasse III, III-IV und IV. In Klasse III werden sieben Pferde (13,73%), in Klasse III-IV 19 Pferde (37,25%), in Klasse IV 17 Pferde (33,33%) eingeteilt. Nach der CT-Untersuchung ändert sich die Klassifizierung nicht. Demnach behalten 37 Pferde (72,55%) in der Gesamtbetrachtung ihre Röntgenklasse nach der CT-Untersuchung bei. 12 Pferde verschlechtern ihre Röntgenklasse (23,53%), wobei sechs Pferde (11,76%) sich nur um eine halbe Röntgenklasse verschlechtern. Der Anteil unveränderter Pferde und Pferde, die sich nur um eine halbe Klasse verschlechtern, beträgt somit 84,31%.

Wird nur der HG/SB betrachtet, so verändern sich durch eine zusätzliche tangential Projektion nur die Klassen III-IV und IV. In die Klasse III-IV können 17 Pferde (33,33%), in Klasse IV 13 Pferde (25,49%) eingeteilt werden. Nach der CT-Untersuchung ändert sich die einzelne Klassifizierung nicht. Das bedeutet, dass nach der CT-Untersuchung insgesamt 41 Pferde (80,39%) ihre Röntgenklasse beibehalten. 10 Pferde (19,61%) werden schlechter bewertet, wobei fünf Pferde (9,80%) nur um eine halbe Röntgenklasse schlechter bewertet werden. Kein Pferd wird besser bewertet. Der Anteil unverändert beurteilter Pferde und der Pferde, die nur um eine halbe Klasse schlechter beurteilt werden, beträgt dann 90,19%.



Tabelle 27: Verteilung der Gesamtröntgenklassen nach der röntgenologischen Untersuchung und Erweiterung um die Strahlbeintangentialaufnahme

Rö-Kl.	Gesamt (n=51)	%	HG/SB (n=51)	%
I	0	0	2	3,92
I-II	0	0	0	0
II	0	0	2	3,92
II-III	8	15,69	11	21,57
III	7	13,73	7	13,73
III-IV	19	37,25	17	33,33
IV	17	33,33	12	23,53

Tabelle 28: Veränderung der Röntgenklassen nach der computertomographischen Auswertung und zuvor Erweiterung der Röntgenuntersuchung um die Strahlbeintangentialaufnahme

RöKl.	Nach CT gesamt (n=51)	%	Nach CT HG/SB (n=51)	%
I	0	0	2	3,92
I-II	0	0	0	0
II	0	0	1	1,96
II-III	5	9,80	7	13,73
III	3	5,88	5	9,80
III-IV	21	41,18	16	31,37
IV	22	43,14	20	39,22

Tabelle 29: Verteilung der Veränderungen der Klassifizierung nach der computertomographischen Untersuchung nach Erweiterung durch die Strahlbeintangentialaufnahme

Nach CT-Untersuchung	Anzahl (n=51)	%
Ohne Veränderung Rö-Kl. Gesamt	37	72,55
Ohne Veränderung Rö-Kl. HG-/SB	41	80,39
Verschlechterung Rö-Kl. Gesamt	12	23,53
Verschlechterung Rö-Kl. HG-/SB	10	19,61
Verbesserung Rö-Kl. gesamt	2	3,92
Verbesserung Rö-Kl. HG-/SB	0	0

Wird die gesamte distale Gliedmaße beurteilt, so verändern sich durch eine zusätzliche Oxspringaufnahme an den Hinterextremitäten die Klassen II-III, III-IV und IV. In Klasse II-III werden sieben Pferde (13,73%), in Klasse III-IV 17 Pferde (33,33%) in Klasse IV 19 Pferde (37,25%) eingeteilt. Nach der CT-Untersuchung ändert sich die Klassifizierung nicht. Demnach behalten 39 Pferde (76,47%) in der Gesamtbetrachtung ihre Röntgenklasse nach der CT-Untersuchung bei. 9 Pferde (17,65%) werden schlechter beurteilt, wobei drei Pferde (5,88%) nur um eine halbe Röntgenklasse schlechter beurteilt werden. Der Anteil unveränderter Pferde und Pferde, die nur um eine halbe Klasse schlechter beurteilt werden, beträgt somit 82,35%.

Wird nur der HG/SB betrachtet verändern sich nach der röntgenologischen Untersuchung ebenfalls nur die Klassen II-III, III-IV und IV. In die Klasse II-III können neun Pferde (17,65%), in Klasse III-IV 16 Pferde (31,37%) und in Klasse IV 15 Pferde (29,41%) eingeteilt werden. Nach der CT-Untersuchung ändert sich die Klassifizierung nicht. Das bedeutet, dass nach der CT-Untersuchung insgesamt 43 Pferde (84,31%) ihre Röntgenklasse beibehalten. Acht Pferde (15,69%) werden schlechter beurteilt, wobei vier Pferde (7,84%) nur um eine halbe Röntgenklasse schlechter beurteilt werden. Der Anteil unveränderter Pferde und der Pferde, die nur um eine halbe Klasse schlechter beurteilt werden, beträgt dann 92,15%.

Tabelle 30: Verteilung der Gesamtröntgenklassen nach der röntgenologischen Untersuchung und Erweiterung um die Oxspringaufnahme an den Hinterbeinen

<b>Rö-Kl.</b>	<b>Gesamt (n=51)</b>	<b>%</b>	<b>HG/SB (n=51)</b>	<b>%</b>
<b>I</b>	0	0	2	3,92
<b>I-II</b>	0	0	0	0
<b>II</b>	0	0	2	3,92
<b>II-III</b>	7	13,73	9	17,65
<b>III</b>	8	15,69	7	13,73
<b>III-IV</b>	17	33,33	16	31,37
<b>IV</b>	19	37,25	15	29,41

Tabelle 31: Veränderung der Röntgenklassen nach der computertomographischen Auswertung und zuvor Erweiterung der Röntgenuntersuchung um die Oxspringaufnahme an den Hinterbeinen

<b>RöKI.</b>	<b>Nach CT gesamt (n=51)</b>	<b>%</b>	<b>Nach CT HG/SB (n=51)</b>	<b>%</b>
<b>I</b>	0	0	2	3,92
<b>I-II</b>	0	0	0	0
<b>II</b>	0	0	1	1,96
<b>II-III</b>	5	9,80	7	13,73
<b>III</b>	3	5,88	5	9,80
<b>III-IV</b>	21	41,18	16	31,37
<b>IV</b>	22	43,14	20	39,22

Tabelle 32: Verteilung der Veränderungen der Klassifizierung nach der computertomographischen Untersuchung nach Erweiterung durch die Oxspringaufnahme an den Hinterbeinen

Nach CT-Untersuchung	Anzahl (n=51)	%
Ohne Veränderung Rö-Kl. Gesamt	39	76,47
Ohne Veränderung Rö-Kl. HG-/SB	43	84,31
Verschlechterung Rö-Kl. gesamt	9	17,65
Verschlechterung Rö-Kl. HG-/SB	7	13,73
Verbesserung Rö-Kl. gesamt	2	3,92
Verbesserung Rö-Kl. HG-/SB	0	0

#### 4.7 Zwischenklassen

Tabelle 33: Veränderung der Zwischenklassenbewertungen der gesamten Gliedmaße nach der CT-Untersuchung

Nach Rö Zwischenklasse gesamt	Nach CT un- verändert (%)	Nach CT RöKl. III (%)	Nach CT RöKl. III-IV (%)	Nach CT RöKl. IV (%)
II-III (8)	4 (50 %)	-	3 (37,5 %)	1 (12,5 %)
III-IV (21)	15 (71,43 %)	-	-	6 (28,57 %)

Acht Pferde (15,69 %, n=51) wurden mit der RöKl. II-III bewertet (Tabelle 33). Bei der Hälfte der Pferde änderte sich die Klassifizierung nach der CT-Untersuchung nicht. 37,5 % der in RöKl. II-III gruppierten Pferde verschlechterte sich die Bewertung nach der CT-Untersuchung um eine ganze Röntgenklasse in RöKl. III-IV. Nur 12,5 % verschlechterten sich sogar um eineinhalb Klassen in RöKl. IV. 21 Pferde (41,18 %, n=51) wurden anhand ihrer röntgenologischen Befunde mit der RöKl. III-IV bewertet. 71,43 % dieser Pferde veränderten sich nach der CT-Untersuchung nicht in ihrer Röntgenklasse. 28,57 % der Pferde wurden anschließend in die Klasse IV eingestuft.

Tabelle 34: Veränderung der Zwischenklassenbewertungen des HG/SB nach der CT-Untersuchung

Nach Rö Zwischenklasse HG/SB	Unverändert (%)	Nach CT RöKl. III (%)	Nach CT Rökl. III-IV (%)	Nach CT RöKl. IV (%)
II-III (11)	7 (63,64 %)	-	1 (9,09 %)	3 (27,27 %)
III-IV (19)	13 (68,42 %)	-	-	6 (31,58 %)

Führt man diese Betrachtung für die Befunde im HG/SB durch, dann zeigen von 21,57 % (n=51) der in RöKl. II-III beurteilten Pferde 63,64 % auch nach der CT-Untersuchung keine Veränderung in ihrer Klassifizierung (Tabelle 34)

Nur ein Pferd wurde um eine halbe Röntgenklasse schlechter beurteilt, während drei Pferde (27,27 %) um eineinhalb Klassen schlechter beurteilt und in RöKl. IV eingeteilt wurden. 68,42 % (n=51) der Pferde mit RöKl. III-IV veränderten sich nicht in ihrer Röntgenklasse. Die restlichen 31,58 % wurden um eine halbe Klasse schlechter in RöKl. IV eingeteilt.

#### **4.8 Spezielle Fallstudien mit Bildsequenzen der röntgenologischen und computertomographischen Untersuchung**

Im Folgenden sollen Beispiele für pathologische Veränderungen des HG/SB anhand von Befundserien der röntgenologischen und computertomographischen Untersuchung dargestellt werden. Die Befunde werden je nach Art der Veränderungen in den entsprechenden MPRs dargestellt. Dies soll den Nutzen der verschiedenen akquirierten Ebenen unterstreichen und aufzeigen, welche Befunde sich in welchen Ebenen optimal befunden lassen.

Je nach Befund komplementieren 3D-Oberflächendarstellungen das Verständnis über die Veränderungen. Zudem werden die Ergebnisse mit der photographischen Dokumentation der Präparation und Mazeration entsprechender Extremitäten überprüft.

Es handelt sich sowohl um Befunde, die mittels der röntgenologischen Untersuchung nicht oder unzureichend dargestellt werden konnten, als auch um Befunde, deren vollständiges Ausmaß erst mittels der CT-Untersuchung abgeklärt werden konnte.

##### **4.8.1 Hufgelenk**

Feinste Defekte in der Gelenkfläche können vor allem auf der axialen Schicht als kleine formvariable, hypodense Aufhellungen dargestellt werden. Die sagittale und coronare Ebene kann dies unterstützend dokumentieren.

Eine mögliche Gelenkbeteiligung lässt sich optimal mittels der sagittalen Rekonstruktion überprüfen. In der anschließenden Präparation konnte verifiziert werden, dass Veränderungen der subchondralen Knochenplatte in allen Fällen mit Veränderungen im Gelenkknorpelbereich vergesellschaftet sind. Makroskopisch erkennt man dies an Farb- und/oder Strukturveränderungen der oberflächlichen Knorpelschicht sowie an tiefer greifenden Veränderungen. Die Knorpeloberfläche der Frischpräparate erscheint samtartig, aufgeraut oder gummiartig und ist farbverändert. Die Unversehrtheit der subchondralen Knochenplatte spricht im Umkehrschluss aber nicht für einen intakten Gelenkknorpel. Der Umkehrschluss kann in dieser Studie jedoch nicht belegt werden, da im Zuge der Mazeration nur Gelenke eröffnet wurden, bei denen in der CT-Untersuchung Defekte der subchondralen Knochenplatte befundet wurden. Verdichtungen der subchondralen Knochenplatte wurden aufgrund fehlender Dichtemessungen in dieser Arbeit lediglich als sklerotische Bereiche beschrieben.

Pferd Nr. 68: subchondraler Defekt des Hufgelenks (rechte Vorderextremität)

Durch die auf der lateromedialen Projektion sichtbare Rotation des Hufbeins  $>3^\circ$  wird das Pferd nach 1.3.4 des RÖLF 2007 in die Röntgenklasse III-IV eingeteilt. Die Hutmacke wird nach 1.6.4 mit der Klasse III bewertet. In der  $90^\circ$ -Aufnahme präsentiert sich der Hufgelenkbereich ohne besonderen Befund. Auf der Oxspring-Aufnahme zeigen sich drei einfache Strahlbeinkanäle, die nach 2.1.10 (Form der Canales schmal, spitz, breit, konisch oder zylindrisch) mit der RöKl. I-II bewertet werden. Des Weiteren ist eine Hufknorpelverknöcherung am Ansatz ersichtlich (1.10.1, RöKl. II) (Abbildung 3).

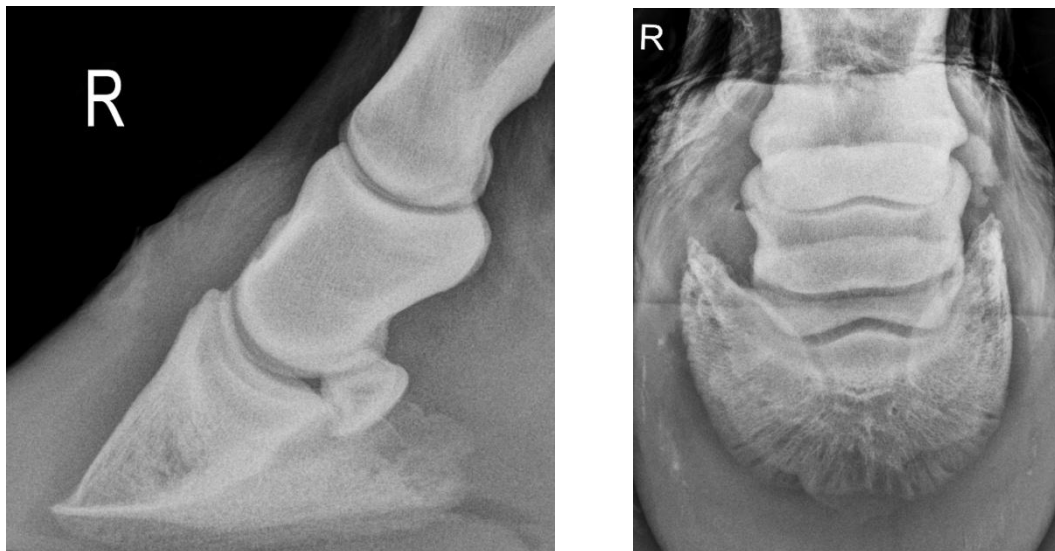


Abbildung 3: Pferd 68. Linkes Bild:  $90^\circ$ -Aufnahme der rechten Vordergliedmaße. Rechtes Bild: Oxspring-Aufnahme der rechten Vordergliedmaße

Computertomographisch stellen sich sowohl im Bereich der Fovea articularis des Hufgelenkes als auch im Übergang zur Facies articularis mit dem Kronbein feinste, hypodense Areale dar, die in der Präparation als Kontinuitätsverletzung der Gelenkoberfläche verifiziert werden können. Im Gelenkspalt im Bereich der Artikulation von Strahlbein, proximalem Hufbein und der Gelenkerhöhung der distalen Kronbeinepiphyse ist eine kleine runde, isolierte hyperdense Struktur erkennbar. Partielle Anteile des distalen Kronbeins sowie der P. e. sind bereits angeschnitten. Bei dieser Verschattung handelt es sich um eine isolierte, palmare Verschattung im Hufgelenk („Hufgelenkchip“). Besonders deutlich stellt sich dieser mittels der axialen Rekonstruktion dar (Abbildung 4).

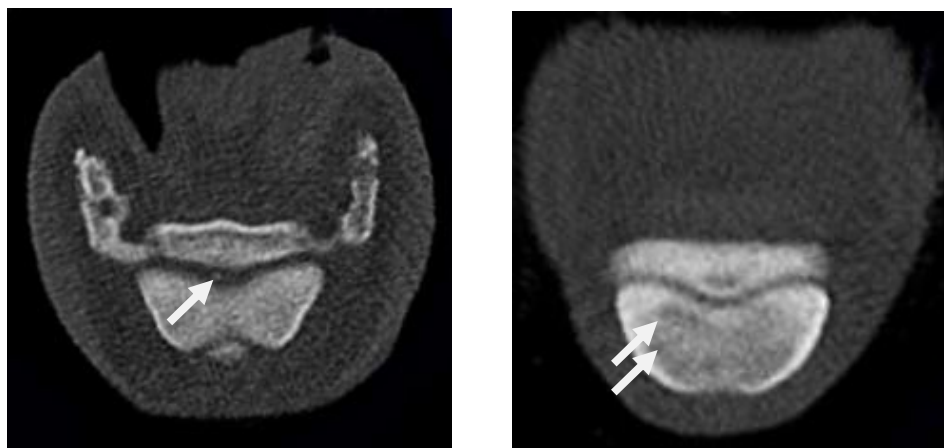


Abbildung 4: Pferd 6 8. Linkes Bild: axiale Rekonstruktion der isolierten Verschattung im Bereich des Hufgelenks. Rechtes Bild: axiale Rekonstruktion der Veränderungen an der distalen Kronbeinepiphyse.

In der Präparation des Hufgelenkes zeigte sich ein deutlicher Defekt in der Gelenkvertiefung des Hufbeins an typischer Lokalisation. Dieser war röntgenologisch weder auf der lateromedialen noch auf der Oxspring-Aufnahme zu befunden. Entsprechende Veränderungen sowie Schleiffrinnen an der Knorpeloberfläche waren am distalen Kronbein identifizierbar (Abbildung 5). In der Präparation verlieren sich kleine, isolierte Knochen-Knorpelfragmente oft im angrenzenden Weichteilgewebe. Im Verlauf der Mazerationsvorgänge gehen sie verloren und sind somit ebenfalls nicht darstellbar.

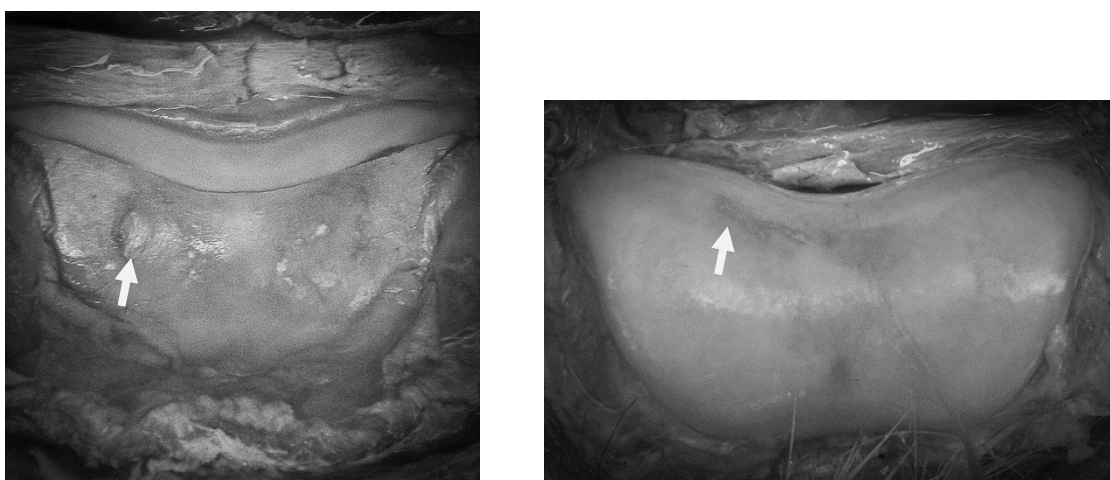


Abbildung 5: Pferd 68, vr. Linkes Bild: Präparation des Hufgelenks mit deutlichen Alterationen des Gelenkknorpels im Bereich der Fovea articularis. Rechtes Bild: korrespondierende Verschleißerscheinungen des Gelenkknorpels der distalen Kronbeinepiphyse.

#### Pferd Nr. 68: subchondraler Defekt des Hufgelenks (rechte Hinterextremität)

Das Pferd wird aufgrund der Rotation des Hufbeins an der rechten Vordergliedmaße (Abbildung 3) mit der RöKI. III-IV bewertet. Darüber hinaus weist das Pferd auch Veränderungen an der Hinterextremität auf. Röntgenologisch sind diese nicht detektierbar. Die lateromediale Aufnahme zeigt keinen besonderen Befund (Abbildung 6). Für die Beurteilung der Strahlbeine steht nur die lateromediale Projektion zur Verfügung. Oxspring-Aufnahmen am Hinterbein sind nicht Gegenstand des RöLF 2007.



Abbildung 6: Pferd 68, hr. 90°-Aufnahme der rechten Hinterextremität

Computertomographisch zeigt sich an typischer Lokalisation eine inhomogene Struktur der subchondralen Knochenplatte mit punktförmigen, deutlichen Aufhellungen auf der axialen Rekonstruktion (Abbildung 7). Die Anzahl veränderter Hufgelenke der Hintergliedmaße ist signifikant erhöht. 58 Hinterbeine (59,18 %, n=98) zeigen in der computertomographischen Untersuchung punktförmige Aufhellungen im Hufgelenkbereich. Röntgenologisch konnten diese nicht dargestellt werden.



Abbildung 7: Pferd 68, hr. Areale hypodenser Struktur auf der axialen Rekonstruktion

Die Präparation der Hufgelenksregion am Hinterbein zeigt eine deutliche Gelenkknorpelalteration im Bereich der Fovea articularis (Abbildung 8).

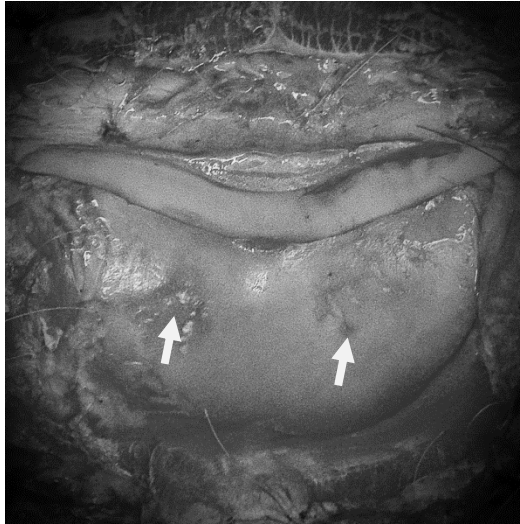


Abbildung 8: Frischpräparat Pferd 68, hr.

Pferd Nr. 64: subchondraler Defekt des Hufgelenks (rechte Hinterextremität)

Bei diesem Pferd ergibt sich nach 1.7.2 (zweigipflige Kontur des P. e.) die Einteilung in die Röntgenklasse II. Weitere röntgenologische Veränderungen sind nicht ersichtlich (Abbildung 9).

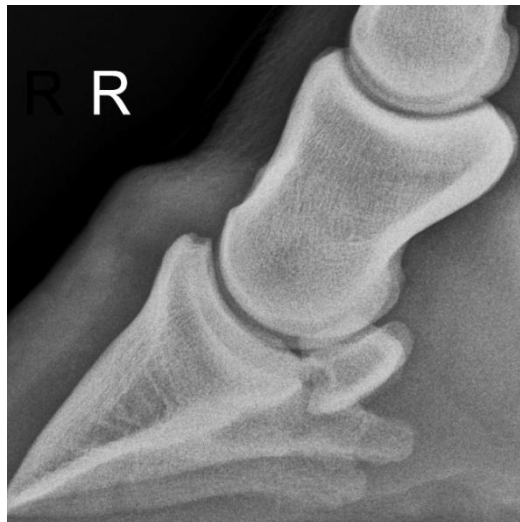


Abbildung 9: Pferd 64, hr. Lateromediale Projektion der rechten Hintergliedmaße

In der CT-Untersuchung zeigten sich geringgradige hypodense, umschriebene Areale im Bereich des Übergangs von subchondraler Knochenplatte zum Gelenkknorpel (Abbildung 10). Sie lassen auf eine Strukturveränderung des Gelenkknorpels schließen. Das Strahlbein am Margo distalis ist bereits angeschnitten.





Abbildung 10: Pferd 64, hr. Axiale MPR-Rekonstruktion des Übergangs subchondrale Knochenplatte/Gelenkknorpel des Hufgelenks

Bestätigt wird dies durch die Präparation des Hufgelenkbereiches. Es zeigt sich eine deutliche Einkerbung der Knorpeloberfläche im Bereich der Foveae articularis des Gelenkknorpels (Abbildung 11).

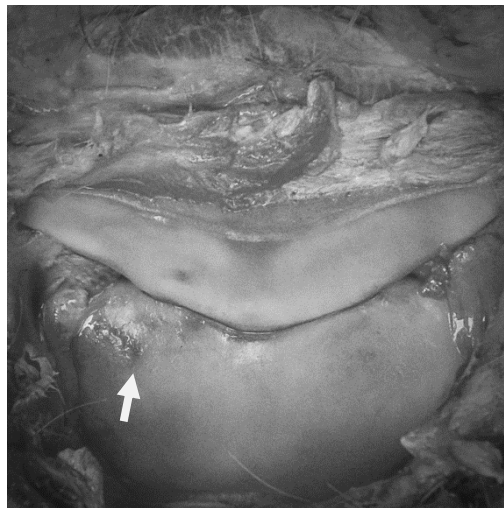


Abbildung 11: Pferd 64, hr. Präparation des Hufgelenks

Auch an der distalen Kronbeinepiphyse korrelieren Veränderungen der Knorpeloberfläche mit den Befunden der CT-Untersuchung (Abbildung 12).

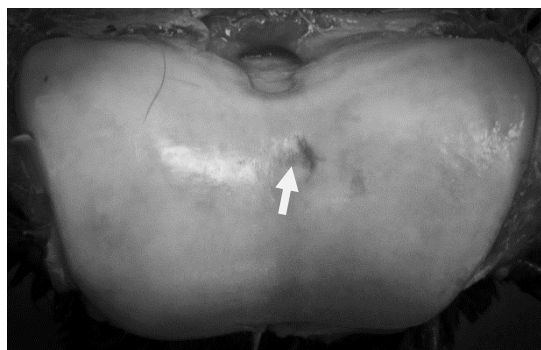


Abbildung 12: Pferd 64, hr. Korrespondierende Verschleißerscheinungen im Bereich der Kronbeinwalze

Pferd Nr. 58: subchondraler Defekt des Hufgelenks (linke Vorderextremität)

Die zweigipflige Kontur des P. e. wird mit der RöKl. II bewertet. Auf der Oxspring-Aufnahme lassen sich nach 2.1.10 vier einfache Kanäle mit der RöKl. I-II beurteilen (Abbildung 13).

Auf beiden Röntgenaufnahmen stellt sich die Struktur und Kontur des Hufgelenks ohne besonderen Befund dar. An der distalen Kronbeinepiphyse deutet sich auf der dorsopalmaren Aufnahmen eine punktuelle Aufhellung an.

Da das Pferd noch eine Zyste im rechten Hufbein aufweist, wird es nach 1.11.3 letztlich mit der RöKl. IV bewertet (Pferd 58, vr).



Abbildung 13: Pferd 58, vl. Linkes Bild: lateromediale Projektion. Rechtes Bild: Aufnahme nach Oxspring

Computertomographisch lassen sich in der sagittalen Rekonstruktion subchondrale, zystoide Defekte optimal befunden (Abbildung 14). Eine mögliche Verbindung zum Gelenk kann somit überprüft werden. In diesem Fall zeigt sich eine kleine Kontinuitätsverletzung der gelenkbildenden Fläche des proximalen Hufbeins. Der subchondrale Knochen scheint zudem geringgradig verdichtet. Dies spricht für einen Sklerosesaum um den Defekt der Knochenplatte.



Abbildung 14: Pferd 58, vl. Sagittale Rekonstruktion

Die Präparation des Hufgelenks zeigt eine deutliche Einziehung und Kontinuitätsverlust im Bereich der medianen Gelenkfläche (Abbildung 15).

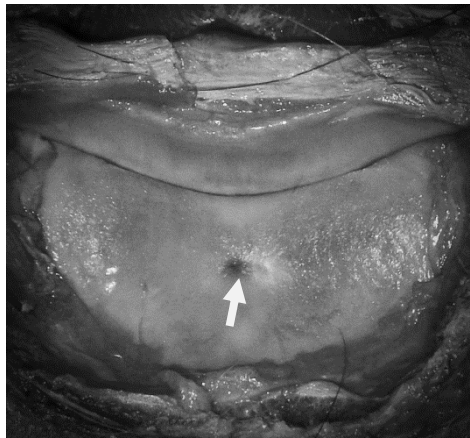


Abbildung 15: Frischpräparat Pferd 58, vl

#### 4.8.2 Hufbein

##### Pferd Nr. 58: Hufbeinzystoid (rechte Vorderextremität)

Auf der lateromedialen Aufnahme der rechten Vordergliedmaße ist bereits eine Aufhellung im Hufbein erkennbar. Das Pferd wird nach 1.11.3 (Strukturveränderungen im subchondralen Gelenkflächenbereich) in die Röntgenklasse IV eingestuft (Abbildung 16)

Auf der Oxspring-Aufnahme ist diese nach 2.2.2 als Aufhellung (zystoider Defekt) ersichtlich. Laut RölF 2007 werden Kontrollaufnahmen zur weiteren Abklärung des Ausmaßes und einer möglichen Gelenkbeteiligung empfohlen. Des Weiteren sind vier einfache Kanäle, nach 2.1.10 bewertet mit RöKl. I-II, zu befunden.

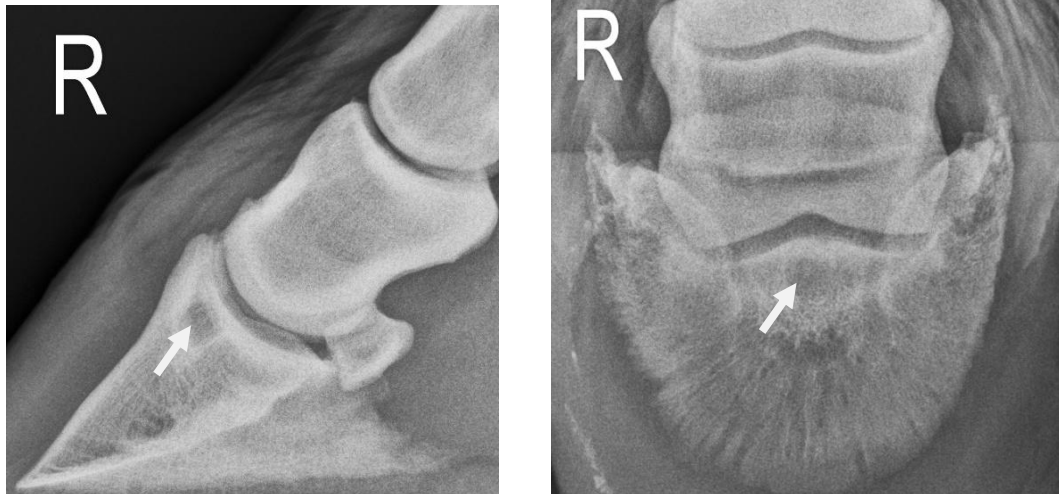


Abbildung 16: Pferd 58, vr. Linkes Bild: 90°-Aufnahme. Rechtes Bild: Aufnahme nach Oxspring

Besonders wichtig für die Diagnostik der Hufbeinzyste ist die sagittale Rekonstruktion (Abbildung 17, Bild in der Mitte). Hier wird die Verbindung zur Gelenkfläche sichtbar. Es besteht ein deutlich zentraler, umschriebener Defekt im proximalen Hufbein und tieferen Schichten sowie am Übergang der subchondralen Knochenplatte zum Gelenkknorpel.

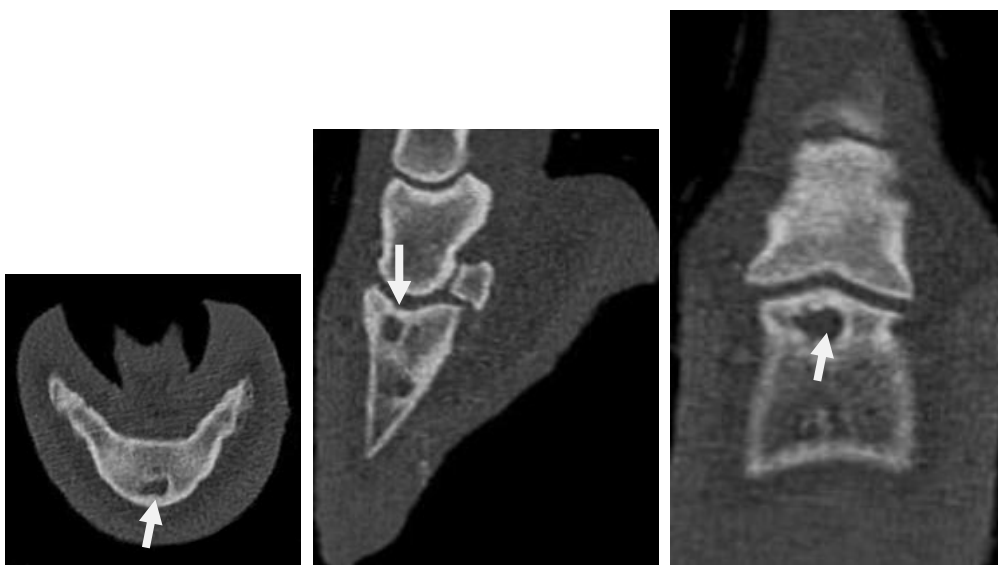


Abbildung 17: Pferd 58, vr. Hufbeinzyste in den verschiedenen Rekonstruktionen

Die Hufbeinzyste zeigt sich nach der Mazeration als zentraler Strukturverlust des subchondralen Knochens (Abb. 21, linkes Bild). Die Präparation verifiziert die Gelenkbeteiligung (Abbildung 18, rechtes Bild).

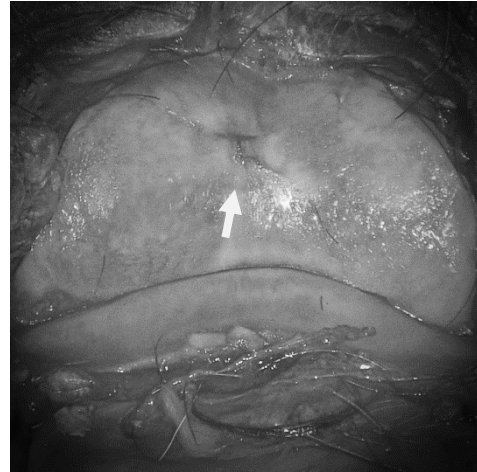


Abbildung 18: Pferd 58, vr. Linkes Bild: Mazeration. Rechtes Bild: Präparation des zystoiden Defektes im Hufbein.

### 4.8.3 Strahlbein

#### Pferd Nr. 43: Einbruch der Sehnengleitfläche des Strahlbeins (linke Vorderextremität)

Das Pferd wird aufgrund einer kleinen, glatten Randexostose dorso-proximal am Kronbein (1.13.2) mit der Röntgenklasse II-III beurteilt. Auf der lateromedialen Aufnahme sind im HG/SB keine röntgenologischen Veränderungen zu befunden. Auf der Oxspring-Aufnahme sind nach 2.1.10 zwei einfache Kanäle mit RöKl. I-II zu befunden. Des Weiteren ist eine Hufknorpelverknöcherung im Ansatz nach 1.10.1 mit der RöKl. II zu bewerten (Abbildung 19).



Abbildung 19: Pferd 43, vl. Linkes Bild: lateromedialen Projektion. Rechtes Bild: Oxspring-Aufnahme

In der computertomographischen Untersuchung zeigt sich in allen drei Ebenen deutlich eine Kontinuitätsverletzung der Sehnengleitfläche des Strahlbeins (Abbildung 20).

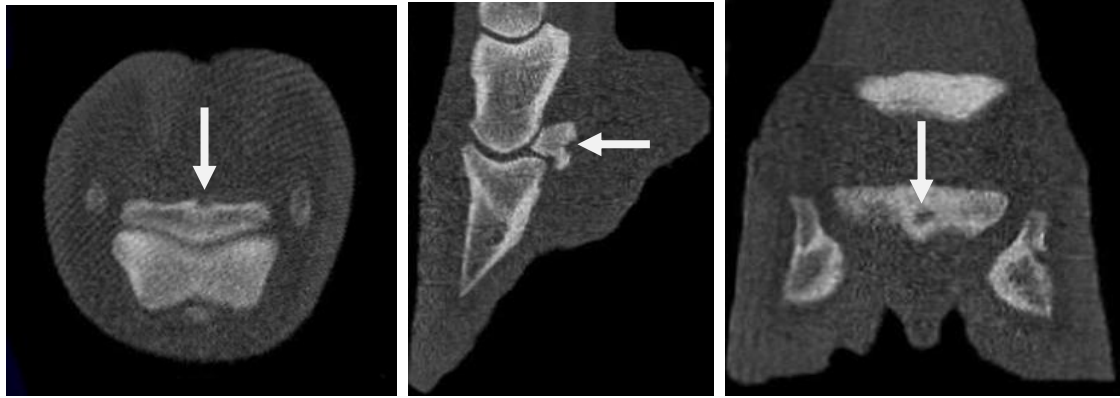


Abbildung 20: Pferd 43, vl. Axiale (linkes Bild), sagittale (Bild in der Mitte) und coronare (rechtes Bild) Rekonstruktion

Die Mazeration des Strahlbeins verifiziert den Einbruch der Facies flexoria (Abbildung 21).



Abbildung 21: Pferd 43, vl. Aufsicht auf die Sehngleitfläche des Strahlbeins mit Einbruch der Knochengrenzlamelle

#### Pferd Nr. 22: Einbruch der Facies flexoria des Strahlbeins (rechte Vorderextremität)

Im Hufgelenk-/Strahlbeinbereich zeigen sich auf der 90°-Aufnahme keine besonderen Befunde (Abbildung 22, linkes Bild). Die Einteilung des Pferdes in Röntgenklasse IV ergibt sich auf der Oxspring-Aufnahme nach 2.1.18 aus dem Verdacht auf einen zystoiden Defekt des Strahlbeins (Abbildung 22, rechtes Bild). Zur Kontrolle wird eine Strahlbeintangentialaufnahme empfohlen.

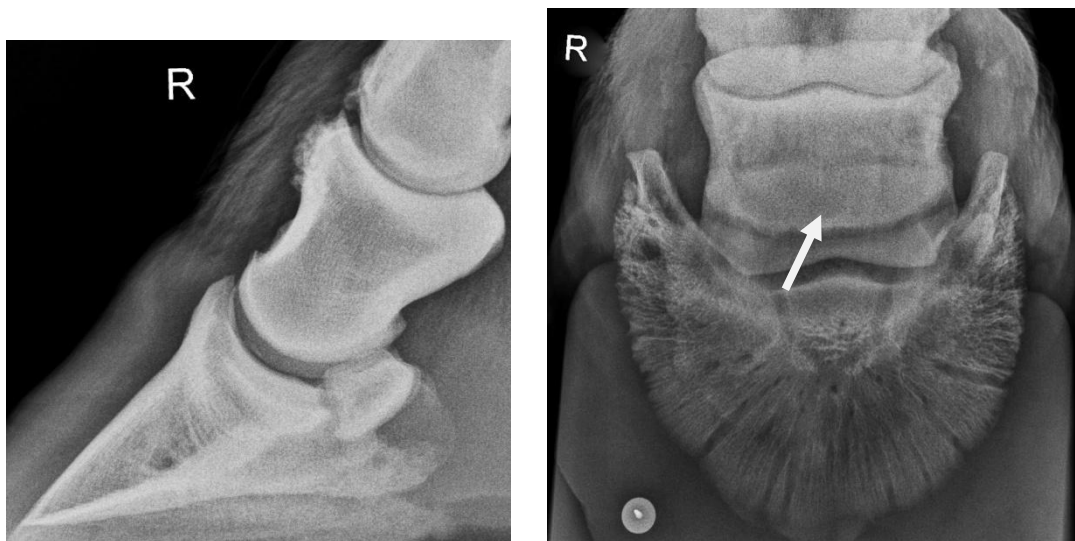


Abbildung 22: Pferd 22, vr. Linkes Bild: lateromediale Aufnahme. Rechtes Bild: Oxspring-Aufnahme

Computertomographisch ist auf der axialen Rekonstruktion ein deutlicher Einbruch der Knochengrenzlamelle an der Facies flexoria zu befunden (Abb. 26, linkes Bild). Die sagittale Rekonstruktion bestätigt dies (Abbildung 23, rechtes Bild). Auf der coronaren Rekonstruktion ist zum einen die zentrale Strukturauflösung in der Spongiosa zu befunden (Abbildung 24, linkes Bild). In einer anderen Schicht der coronaren Ebene stellt sich zudem lateral ein Fragment mit entsprechendem Frakturbett am distalen Strahlbeinrand dar (Abbildung 24, rechtes Bild). Oft sind diese Fragmente mit zystoiden Defekten, Einbrüchen und anderen Veränderungen des Strahlbeins vergesellschaftet. Die 3D-Rekonstruktion visualisiert das Frakturbett (schwarzer Pfeil) und den zentralen Einbruch (gelber Pfeil) (Abbildung 25).

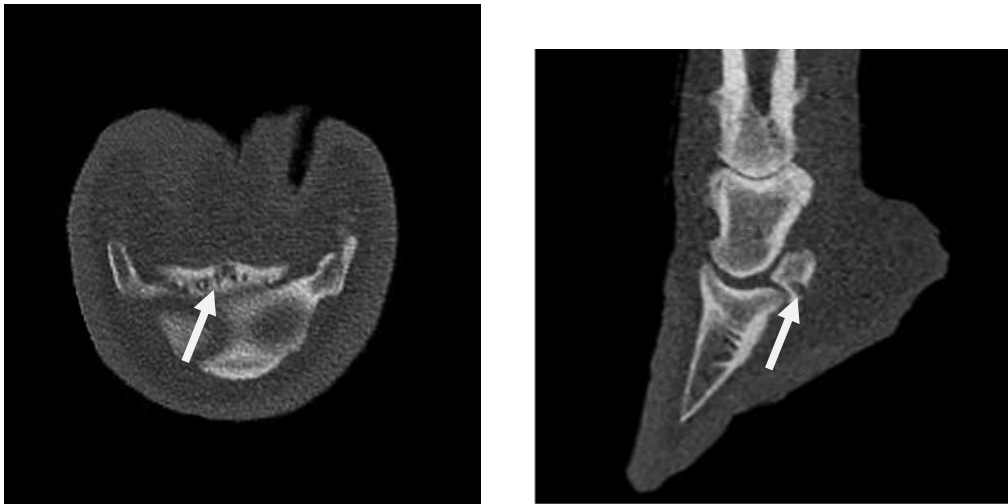


Abbildung 23: Linkes Bild: Axiale Rekonstruktion. Rechtes Bild: Sagittale Rekonstruktion

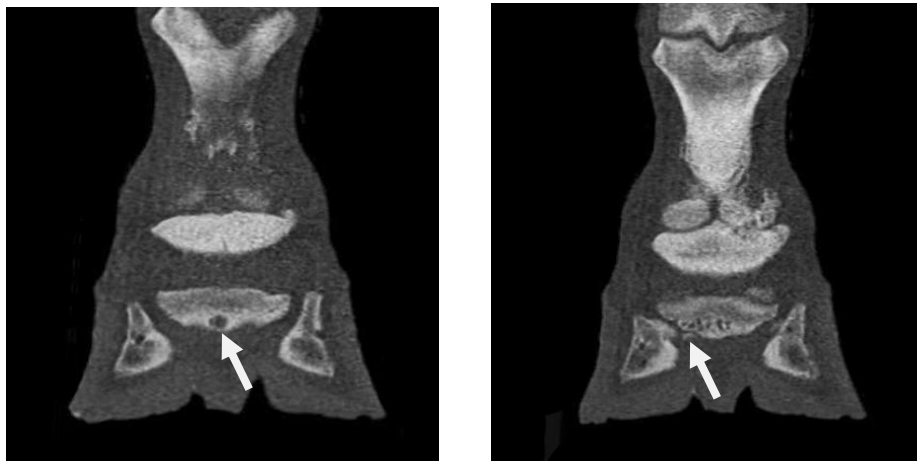


Abbildung 24: Linkes Bild: coronare Rekonstruktion mit disto-zentralem Defekt. Rechtes Bild: coronare Rekonstruktion mit isolierter Verschattung am latero-distalen Strahlbeinrand

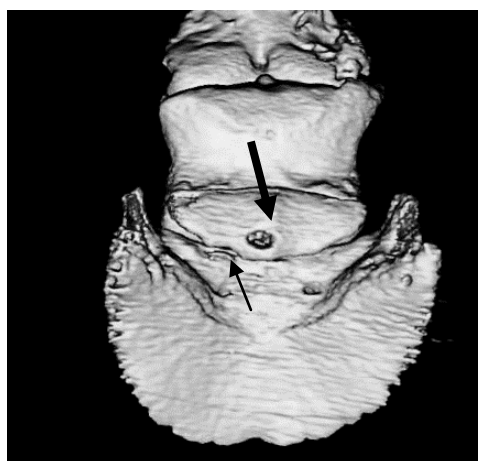


Abbildung 25: 3D-Rekonstruktion

Am Knochenpräparat des Strahlbeins sind der Einbruch der Sehngleitfläche und das Frakturbett am Margo distales deutlich zu befunden (Abbildung 26, linkes Bild. Der distale Rand ist darüber hinaus mit deutlichen Kanälen durchzogen (Abbildung 26, rechtes Bild).





Abbildung 26: Pferd 22, vr. Linkes Bild: Facies flexoria mit zentralem Einbruch. Rechtes Bild: Aufsicht auf die Facies articularis und das Frakturbett am distalen Rand

#### Pferd Nr. 40: Einbruch der Sehnengleitfläche des SB (rechte Vorderextremität)

Auf der 90°-Projektion ist im Strahlbeinbereich eine Zubildung (oder isolierte Verschattung) des proximalen Randes nach 1.9.3. mit RöKl. II-III zu bewerten (Abbildung 27, linkes Bild). Im Vergleich zu den vorigen Fällen (Pferd 22, Pferd 43) wird der Einbruch der Sehnengleitfläche hier bereits in der röntgenologischen Darstellung des Strahlbeins auf der Oxspring-Aufnahme sichtbar (Abbildung 27, rechtes Bild, gelber Pfeil). Das Pferd wird demnach (2.1.19 zentrale Aufhellung (Einbruch)) mit der RöKl. IV bewertet. Im Weiteren sind bezüglich der Kontur Zubildungen des proximalen Randes (2.1.22, RöKl. II-III, schwarzer Pfeil).



Abbildung 27: Pferd 40 vr. Linkes Bild: 90°-Projektion. Rechtes Bild: Oxspring-Aufnahme

Computertomographisch lassen sich in der axialen Rekonstruktion Zubildungen am proximalen Strahlbeinrand auf Höhe des distalen Kronbeins befunden (Abbildung 28, linkes Bild). Darüber hinaus ist die Zusammenhangstrennung der Knochenkompakta im Bereich der Facies flexoria des Strahlbeins darstellbar (Abbildung 28, rechtes Bild, Abbildung 29).

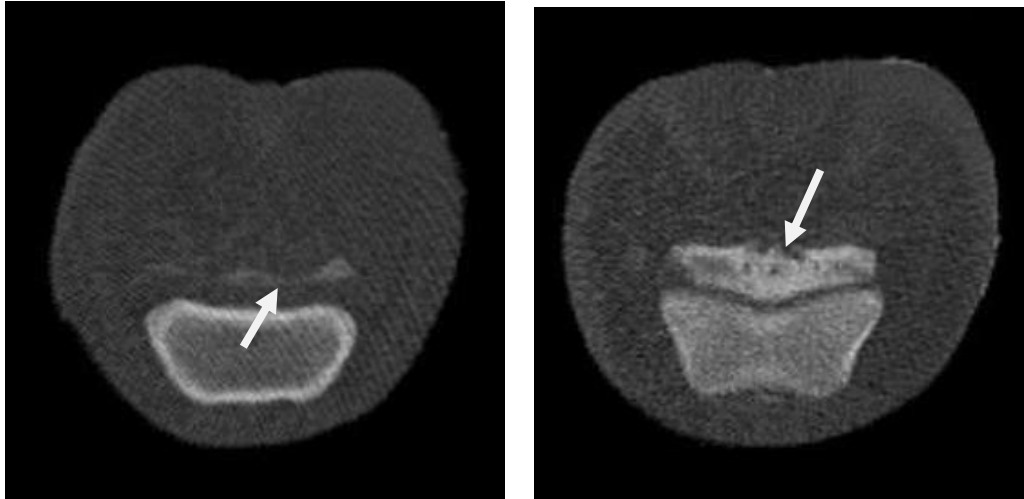


Abbildung 28: Pferd 40, vr. Axialer Scan



Abbildung 29: Pferd 40, vr. Sagittale (linkes Bild) und coronare Rekonstruktion (rechtes Bild) des Strahlbeins

Am Knochenpräparat ist die Zerstörung der Grenzlamelle deutlich zu befunden (Abbildung 30, gelber Pfeil). Meist kommt es bei derartigen Veränderungen zu Schäden im Bereich der tiefen Beugesehne, wie Auffaserungen der Sehne und Verwachsungen mit proliferierendem Granulationsgewebe. Der schwarze Pfeil kennzeichnet die Zubildung am proximalen Strahlbeinrand.

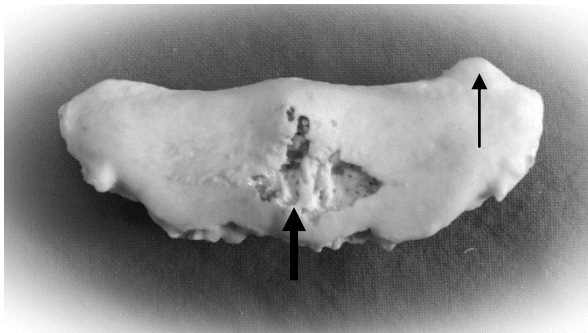


Abbildung 30: Pferd 40, vr. Photographische Dokumentation des Gleitflächendefektes (linkes Bild) und der Zubildungen (rechtes Bild) am proximalen Rand

Pferd Nr. 29: Isolierte Verschattung am proximalen Strahlbeinrand (linke Hinterextremität)

Auf der lateralen Aufnahme des linken Hinterbeines ist nach 1.7.3 ein spitz ausgezogener Pc. e. zu beurteilen. Weitere Veränderungen sind röntgenologisch nicht zu befunden (Abbildung 31).

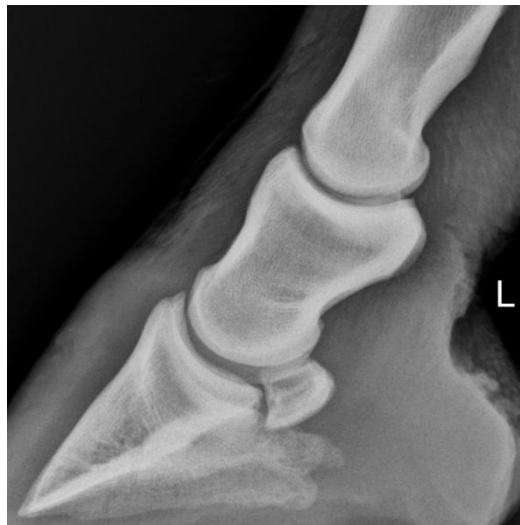


Abbildung 31: Pferd 29, hl. 90°-Aufnahme

Computertomographisch lässt sich in der axialen Ebene lateral am proximalen Strahlbeinrand eine kleine, isolierte, hyperdense Struktur vermuten (Abbildung 32, linkes Bild). In der sagittalen Rekonstruktion stellt sich diese deutlich am Übergang zum proximalen Rand dar (Abbildung 32, Bild in der Mitte). Die korrekte Lokalisation wird in der coronaren Rekonstruktion bestätigt (Abbildung 32, rechtes Bild). Die 3D-Rekonstruktion visualisiert dem Untersucher das Fragment am proximalen Strahlbeinrand (Abbildung 33).

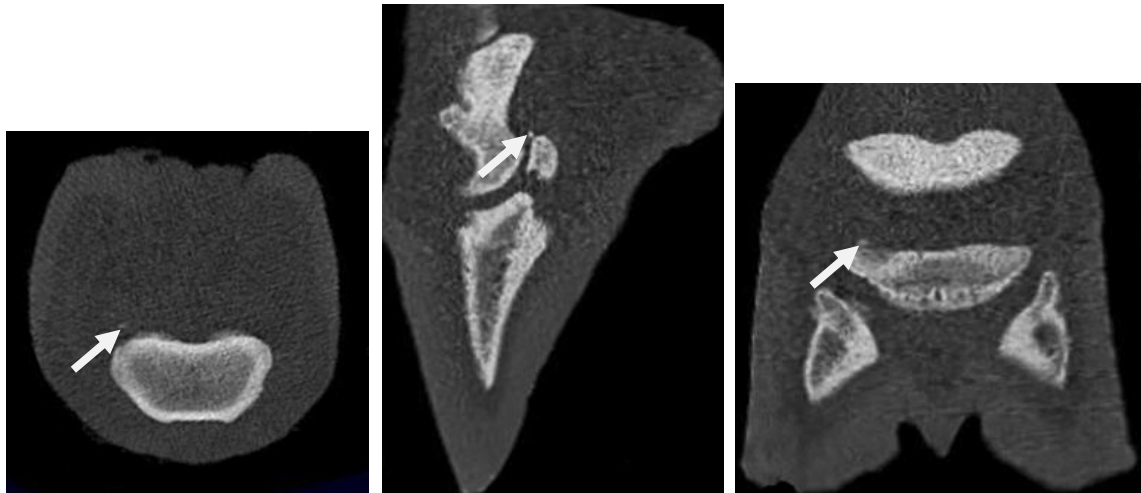


Abbildung 32: Pferd 29, hl. Axiale (links), sagittale (Mitte) und coronare Rekonstruktion (rechts)

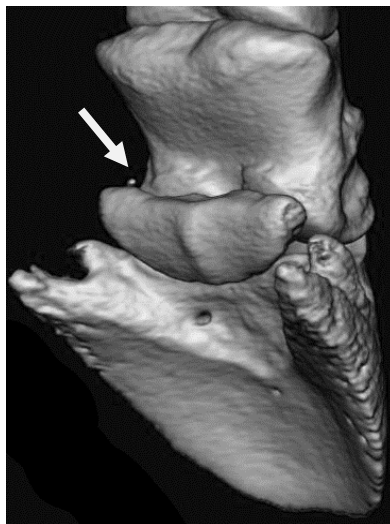


Abbildung 33: Pferd 29, hl. 3D-Rekonstruktion des Strahlbeins und der isolierten Verschattung am proximalen Rand

Pferd Nr. 29: isolierte Verschattung am distalen Strahlbeinrand (rechte Hinterextremität)

Aufgrund der zweigipfeligen Kontur des Pc. e. ergibt sich nach 1.7.2 für dieses Pferd die Röntgenklasse II. Die lateromediale Projektion lässt zudem keinen besonderen Befund erkennen (Abbildung 34).



Abbildung 34: Pferd 29, hr. Lateromediale Projektion

Auf der axialen Rekonstruktion zeigt sich bereits eine kleine, hyperdense Struktur am Margo distalis des Strahlbeins (Abbildung 35, linkes Bild). Die sagittale Ebene verdeutlicht das Fragment (Abbildung 35, Bild in der Mitte). Auf der coronaren Rekonstruktion ist besonders das Frakturbett deutlich zu befunden (Abbildung 35, rechtes Bild).



Abbildung 35: Pferd 29, hr. Axiale (linkes Bild), sagittale (Bild in der Mitte) und coronare (rechtes Bild) Rekonstruktion

Zur Veranschaulichung der Befunde, insbesondere zur Betonung des Frakturbettes, ist zusätzlich noch eine 3D-Rekonstruktion angefertigt worden. Hier zeigt sich auffällig die Vertiefung im Knochen am distalen Strahlbeinrand (Abbildung 36).

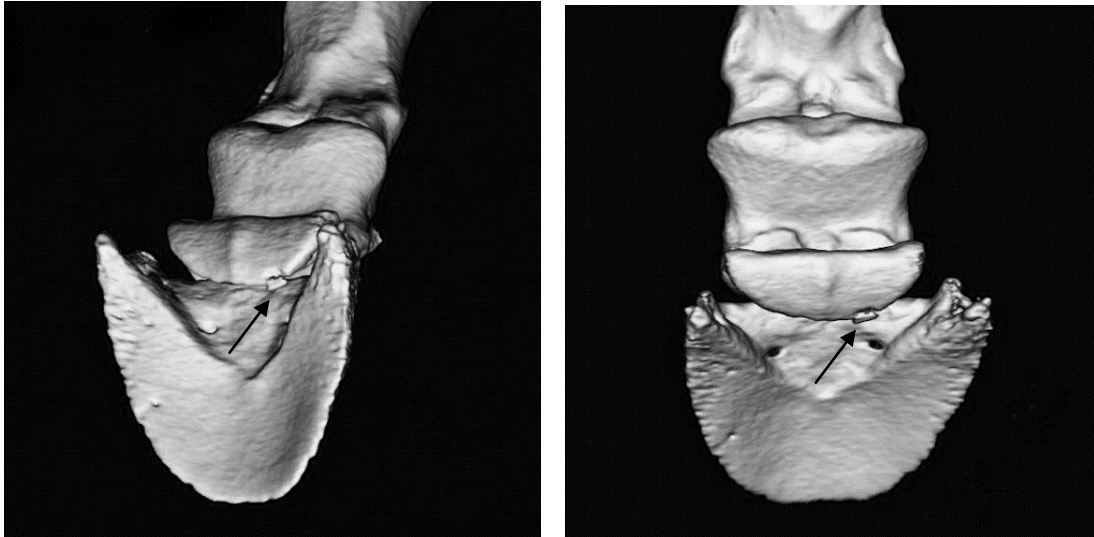


Abbildung 36: Pferd 29, hr. 3D-Rekonstruktionen der isolierten Verschattung am Margo distalis des Strahlbeins

Im Zuge der Mazeration gehen kleine, frakturierte Fragmente verloren. Prägnant zeigt sich dennoch die Herauslösung des Fragmentes am distalen Strahlbeinrand (Abbildung 37).

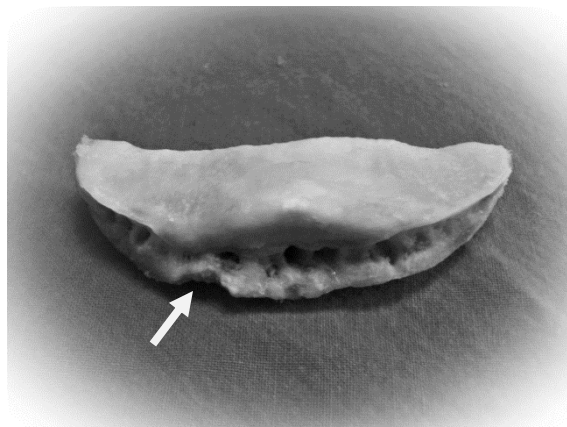


Abbildung 37: Pferd 29, hr. Photographische Dokumentation des Strahlbeins mit Frakturbett am distalen Rand

#### Pferd Nr. 32: isolierte Verschattung am Strahlbein (linke Vorderextremität)

Auf der lateralen Aufnahme sind nach 1.9.3 Zubildungen am proximalen Strahlbeinrand zu befunden (gelber Pfeil). Diese sind auch auf der Oxspring-Aufnahme zu beurteilen (2.1.22). Die Struktur des Strahlbeins erscheint zudem sklerosiert (2.1.17, RöKl. III, schwarzer Pfeil) (Abbildung 38).



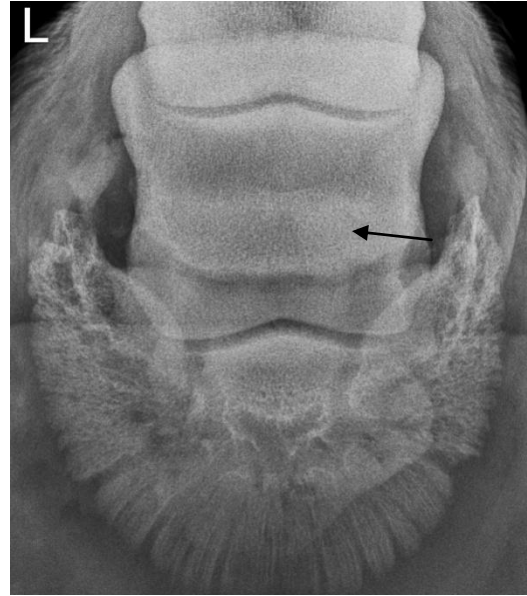


Abbildung 38: Pferd 32, vl. Links: lateromediale Projektion des Strahlbeins. Rechts: Oxspring-Aufnahme

Computertomographisch lässt sich auf der axialen Rekonstruktion medial am distalen Strahlbeinrand ein Fragment vermuten (Abbildung 39, linkes Bild). Differentialdiagnostisch könnte es sich auch um eine Sagittalfaktur des Strahlbeins handeln oder um einen weit in die Spongiosa reichenden Kanal. Auf der sagittalen Rekonstruktion wird dann ersichtlich, dass es sich bei der hyperdensen Struktur am distalen Rand um eine isolierte Verschattung handelt (Abbildung 39, Bild Mitte). Mittels der coronaren Rekonstruktion wird zudem ein Frakturbett deutlich präzisiert (Abbildung 39, rechtes Bild). Auf der 3D-Rekonstruktion ist die Unregelmäßigkeit des distalen Randes und das isolierte Fragment visualisiert (Abbildung 40).

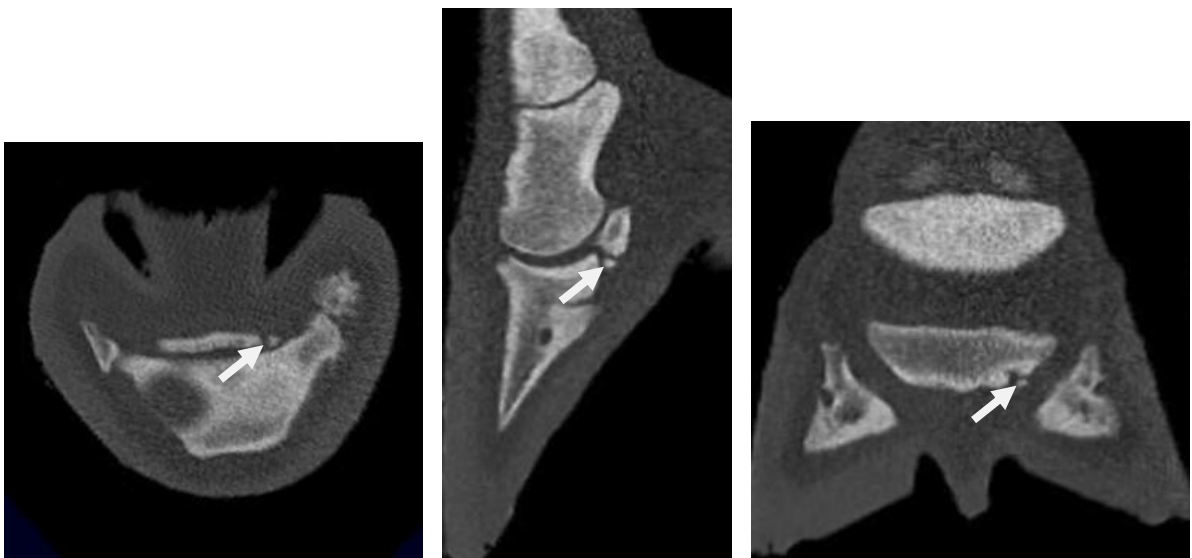


Abbildung 39: Pferd 32, vl. Axiale (links), sagittale (Mitte) und coronare (rechts) Rekonstruktion



Abbildung 40: Pferd 32, vr. 3D-Rekonstruktion des Strahlbeinbereichs

Pferd Nr. 32: isolierte Verschattung (rechte Vorderextremität)

Die laterale Aufnahme zeigt keinen besonderen Befund (Abbildung 41, linkes Bild). Allerdings ist im Zuge der Übersichtsaufnahme die Darstellung der Hilfgelenkfläche zwischen Huf- und Strahlbein nicht orthograd abgebildet. Auf der Oxspring-Aufnahme ist eine isolierte Verschattung nach 1.2.24 (RöKI. II-III, gelber Pfeil) zu befunden. Darüber hinaus ist eine bilaterale Hufknorpelverknöcherung im Ansatz (2.3.1, RöKI. II) zu diagnostizieren (Abbildung 41, rechtes Bild). Der gesamte proximale Strahlbeinrand erscheint unregelmäßig. Dieser Befund ist im RÖLF 2007 für die Oxspringaufnahme nicht gelistet.

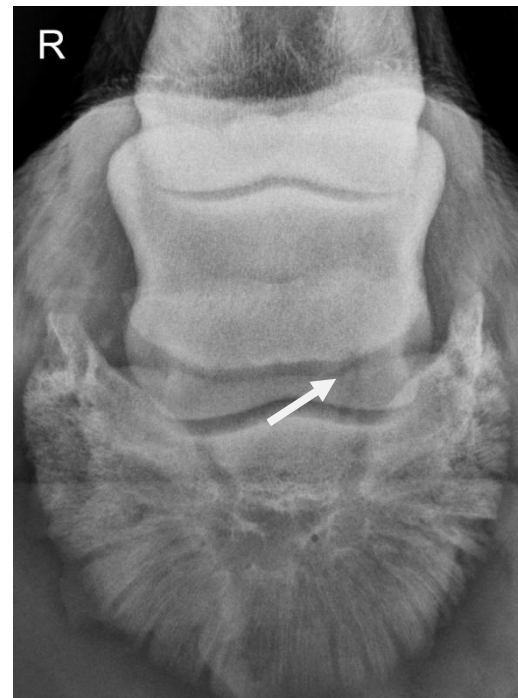


Abbildung 41: Pferd 32, vr. Linkes Bild: 90°-Aufnahme. Rechtes Bild: Oxspring-Aufnahme

In der CT-Untersuchung kann auf der axialen Rekonstruktion ein Fragment am distalen Strahlbeinrand vermutet werden (differentialdiagnostische Abgrenzung wie an der linken Vordergliedmaße). Die sagittale Ebene verifiziert das Fragment. In der coronaren Ebene



stellt sich zudem das Frakturbett optimal dar. Im Vergleich zur linken Vordergliedmaße erscheint die Kontur des distalen Randes regelmäßig (Abbildung 42).



Abbildung 42: Pferd 32, vr. Rekonstruktion der isolierten Verschattung am distalen Strahlbeinrand in allen drei Ebenen

Das Knochenpräparat des Strahlbeins bestätigt die Befunde der CT-Untersuchung (Abbildung 43).

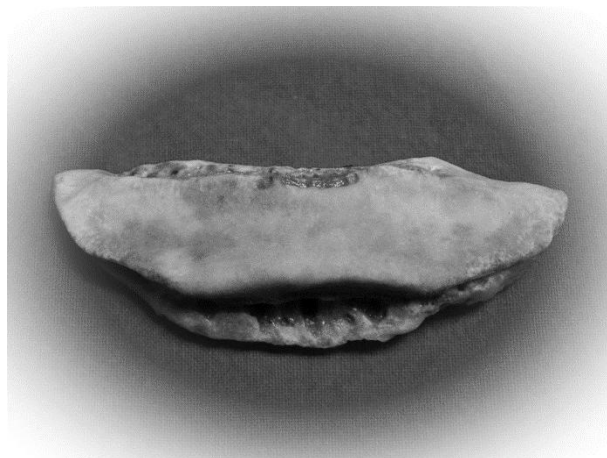


Abbildung 43: Pferd 32, vr. Knochenpräparat des Strahlbeins

#### Pferd Nr. 15: isolierte Verschattung (linke und rechte Vorderextremität)

Bei diesem Pferd liegt ein ausführlicher Vorbericht vor, da es sich um einen jahrelang von der Tierklinik betreuten Patienten handelte. Das Pferd zeigte über die letzten Jahre eine intermittierende Lahmheit auf beiden Vorderbeinen. Diese ließ sich wiederholt durch diagnostische Anästhesien des Hufgelenks eingrenzen. Wegen des rezidivierenden Charakters der Lahmheit wurde der Wallach vorne beidseits neurektomiert, wobei eine geringgradige Restlahmheit bestehen blieb. Auf den lateromedialen Projektionen zeigt sich eine Sklerosierung der Spongiosa beider Strahlbeine (1.9.1, RöKl. III) (Abbildung 44). Dies wird auch auf den Oxspring-Aufnahmen deutlich (2.1.17) (Abbildung 45). Darüber hinaus können an der linken Vordergliedmaße fünf großkolbige Kanäle (2.1.12, RöKl. III-IV) sowie vier Kanäle im schrägen Seitenteil (2.1.8, RöKl. III-IV) und zwei Kanäle im Übergang zum schrägen Seitenteil (2.1.7, RöKl. II-III) beurteilt werden. Die meisten Kanäle reichen dabei über  $\frac{1}{4}$  der Strahl-

beinbreite (2.1.9, RöKl. II). An der rechten Vordergliedmaße werden hingegen vier großkolbige Kanäle, zwei Kanäle im schrägen Seitenteil sowie zwei im Übergang zum schrägen Seitenteil bewertet. Auch hier erreichen die Kanäle über  $\frac{1}{4}$  der Strahlbeinbreite. Das Pferd wird insgesamt mit der RöKl. III-IV klassifiziert. Weitere Veränderungen an Kron-/und Fesselbein wurden registriert, sind aber nicht Gegenstand der Arbeit.

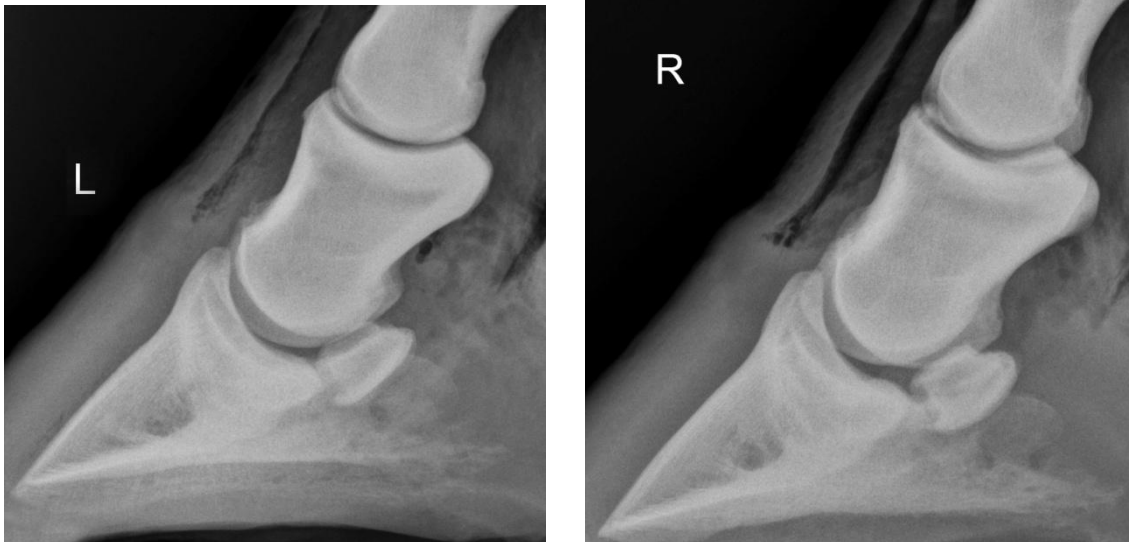


Abbildung 44: Pferd 15 vl und vr. Lateromediale Projektion der linken (linkes Bild) und rechten (rechtes Bild) Extremität



Abbildung 45: Pferd 15, vl und vr. Oxspring-Aufnahme

Computertomographisch sind an beiden Gliedmaßen Strukturdefekte des subchondralen Knochens des Hufgelenkes zu beurteilen (Abbildung 46). Diese lassen sich vor allem auf der axialen Schicht benennen (Abbildung 46, Bild links). An den distalen Strahlbeinrändern können jeweils lateral kleinste, isolierte Verschattungen diagnostiziert werden. Die Vermutung wird bereits mittels der axialen Rekonstruktion gestellt, die sagittale Ebene

bestätigt dies (Abbildung 46, Bild Mitte). Auf der coronaren Rekonstruktion lässt sich vor allem das Frakturbett optimal erkennen (Abbildung 46, Bild rechts). Alle im Rahmen der Röntgenuntersuchung befundeten Veränderungen konnten zudem in der CT-Untersuchung bestätigt werden. Die Kanäle reichen teilweise sogar bis über die Hälfte des Strahlbeins. Abbildung 47 zeigt die 3D-Rekonstruktion.



Abbildung 46: Pferd 15, vl. Rekonstruktion in der axialen (Bild links), sagittalen (Bild Mitte) und coronaren Ebene (Bild rechts)

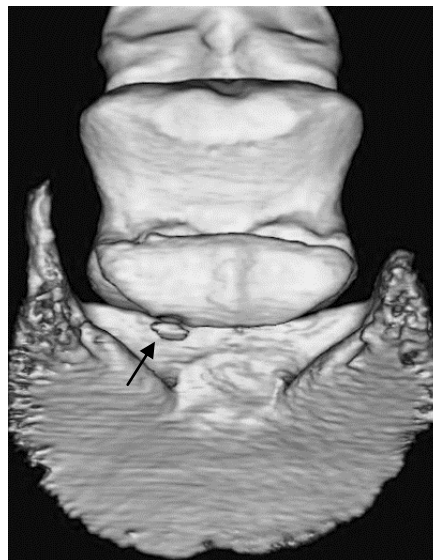


Abbildung 47: Pferd 15, vl. 3D-Rekonstruktion

Pferd Nr. 40: Isolierte Verschattung, Einbruch der Sehngleitfläche des Strahlbeins (linke Vorderextremität), Rekonstruktion im Weichteilfenster

Das Pferd wird aufgrund einer zentralen Aufhellung (Einbruch, gelber Pfeil) in die RöKl. IV eingestuft. Weitere röntgenologische Befunde sind ein proximaler Kanal (2.1.5, RöKl. III,) sowie drei großkolbige Kanäle (2.1.12, RöKl. III-IV, weißer Pfeil). Darüber hinaus lässt die Strahlbeinspongiosa eine Sklerosierung erkennen (2.1.17; RöKl. III) (Abbildung 48).



Abbildung 48: Pferd 40, vl. 0°-Aufnahme

In der CT-Untersuchung konnten alle röntgenologisch beurteilten Veränderungen bestätigt werden (Abbildung 49). Eine Aufhellungslinie im subchondralen Knochen lässt zusätzlich einen Defekt im Hufgelenk vermuten. Der gesamte distale Strahlbeinrand ist zudem in seiner Kontur verändert. Zusätzlich wurden zwei isolierte Verschattungen des proximolateralen Randes diagnostiziert. Nach Befundung in allen drei Ebenen konnte kein Frakturbett identifiziert werden (Abbildung 49, Abbildung 50, Abbildung 51, linke Bilder). Daher wurden die Veränderungen noch einmal im Weichteilfenster befundet und in allen drei Ebenen neu rekonstruiert (Abbildung 49, Abbildung 50, Abbildung 51, rechte Bilder). Es konnte gezeigt werden, dass sich die isolierten Verschattungen im Weichteilfenster optimal darstellen lassen. In Kombination mit der Lokalisation lässt dies auf eine Verkalkung im Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinband schließen.

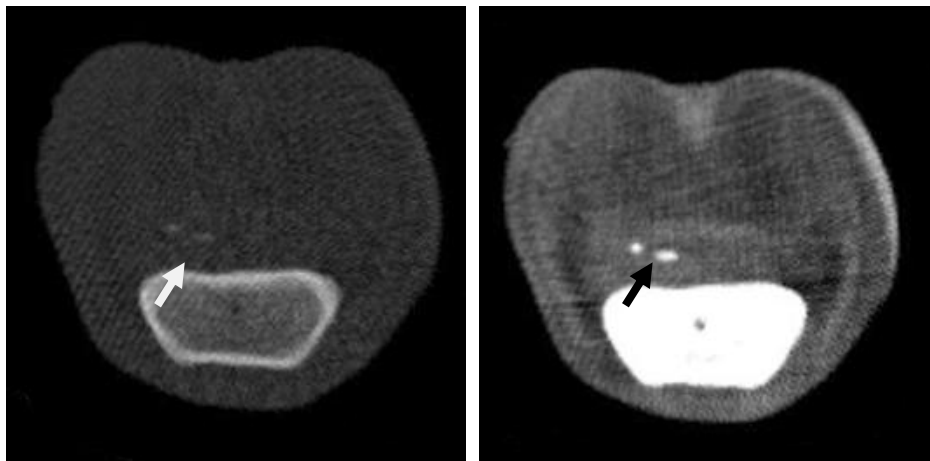


Abbildung 49: Pferd 40, vl. Axiale Rekonstruktion im Knochenfenster (linkes Bild) und Weichteilfenster (rechtes Bild)

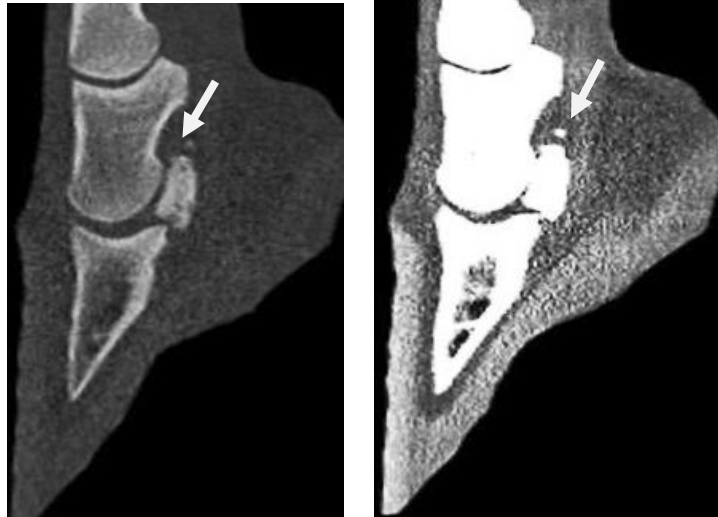


Abbildung 50: Pferd 40, vl. Sagittale Rekonstruktion im Knochenfenster (linkes Bild) und Weichteilfenster (rechtes Bild)

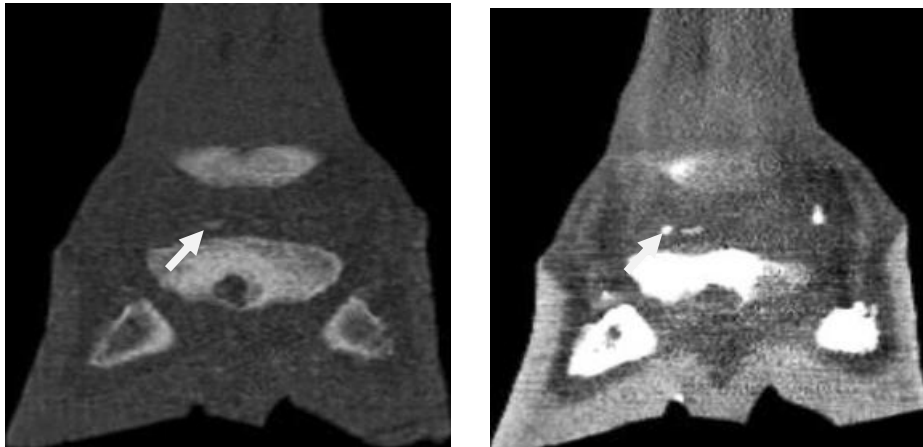


Abbildung 51: Pferd 40, vl. Links coronare Rekonstruktion im Knochenfenster und rechts im Weichteilfenster

## 5 Diskussion

### 5.1 Ziel der Untersuchungen

In Deutschland werden Pferde heutzutage im Rahmen von An- und Verkaufsuntersuchungen routinemäßig geröntgt. Das Anfertigen von Röntgenbildern gehört zu den weiterführenden Untersuchungen im Anschluss an die klinische Untersuchung und soll der Aufdeckung pathologischer, röntgenologischer Veränderungen dienen, die zu einem späteren Zeitpunkt unter Umständen zu einer Lahmheit führen und somit die Nutzbarkeit sowie den Verwendungszweck des Pferdes und damit die Kaufentscheidung erheblich beeinflussen können (GERHARDS 2010).

Die Hufrollenerkrankung wird als die häufigste Lahmheitsursache beim Pferd beschrieben (TIETJE 1995) und steht damit an erster Stelle der Wertminderung beim Warmblutpferd (BELLINGHAUSEN 1996). Aufgrund der zentralen Bedeutung des Strahlbeins für die Diagnose der Podotrochlose (TIETJE 1995) ist der Stellenwert und Nutzen der Röntgenuntersuchung des Strahlbeins im Rahmen einer Lahmheits- oder Ankaufsuntersuchung unumstritten (SEYREK-INTAS et. al. 1999). Die Befundung und Beurteilung von Röntgenbildern und ihrer Bewertung stellt zudem den größten Anteil an gerichtlich entschiedenen Fällen zur Schadensersatzverpflichtung von Tierärzten wegen fehlerhafter Kaufuntersuchungen dar (NEUHAUS 2007). Überdies steht die Podotrochlose heute durch Publikationen zahlreicher Gerichtsurteile im Fokus des Sachmangels beim Pferdekauf (OEXMANN 2007). Im Zusammenhang mit den Rechtsstreitigkeiten, die durch unterschiedliche tierärztliche Beurteilungen von Befunden im Rahmen von Kaufuntersuchungen zwangsläufig entstanden sind (NEUHAUS 2007, STADLER 2008), erscheint der von DONANDT (2001) betonte Wunsch einer sicheren Zuweisung der Röntgenklasse unausweichlich als logische Konsequenz. Angesichts der Häufigkeiten von Fehlbefundungen von röntgenologischen Veränderungen insbesondere am Strahlbein (NEUHAUS 2007), stellt sich die Frage einer von verschiedenen Kritikern bereits geforderten Erweiterung des Minimalstandards des Röntgenleitfadens um die Tangentialaufnahme (UELTSCHI 2002, BUTLER 2008) zur adäquaten Beurteilung des Strahlbeins.

Die Intention der vorliegenden Arbeit war es demnach, die röntgenologischen Standardaufnahmen der distalen Gliedmaße und die Klassifizierung der Pferde in Röntgenklassen gemäß dem Röntgenleitfaden 2007 für die Beurteilung eines Pferdes in der Ankaufsuntersuchung zu überprüfen. Es soll untersucht werden, wieviele der tatsächlich detektierbaren Befunde röntgenologisch gefunden werden können. Basis dieser Überprüfung ist die Einteilung des Pferdematerials in Röntgenklassen gemäß dem RÖLF 2007 nach der röntgenologischen und nach der computertomographischen Untersuchung. Es soll untersucht werden, in welchen Fällen bzw. Befunden die röntgenologische Diagnostik ausreichend ist und ob die im RÖLF 2007 standardisierte Übersichtsaufnahme 90° und die nach Oxspring modifizierte 0°-Aufnahme zur Darstellung ossärer Veränderungen im Hufgelenk-/Strahlbeinbereich ausreichend sind. Interessant erscheinen vor allem die Veränderungen, die röntgenologisch nicht darstellbar waren, aber mittels der CT-Untersuchung detektiert werden konnten. Hierzu werden Serienbeispiele bildlich dokumentiert. Es wird die Frage betrachtet, ob diese Veränderungen mittels der Erweiterung der Standardaufnahmen, in diesem Fall der Tangentialauf-

nahme des Strahlbeins, hätten detektiert werden können. Die bildgebenden Daten werden anschließend mittels Frisch- und Knochenpräparaten verifiziert. Zudem sollen die Vorteile der errechneten Sekundärrekonstruktionen mittels einer Vitrea®-Workstation für den Bereich der orthopädischen Pferdemedizin visualisiert werden.

## **5.2 Diskussion des Materials und der Methode**

### **5.2.1 Anmerkungen zum Untersuchungsmaterial**

Das Untersuchungsmaterial besteht aus einer willkürlichen Stichprobe getöteter Pferde des Bremer Raums ohne Vorselektion. Es handelt sich größtenteils um Extremitäten von Warmblutpferden des Zuchtgebietes Hannover mit einem geschätzten Durchschnittsalter von 15 Jahren. Darüber hinaus kamen drei Probanden post mortem aus der klinikeigenen Patientenkartei zur Untersuchung. Das Pferdmaterial repräsentiert daher eine Auswahl verschiedenster Zufallsbefunde.

Der Röntgenleitfaden findet seine Verwendung in der Untersuchung und Befundung von jungen, lahmfreien Pferden, Auktionsanwärtern oder leistungsstarken Sportpferden. Gemäß der Präambel des RÖLF 2007 findet er keine Anwendung bei lahmen Pferden, Fohlen bis zum Absetzalter und Jungpferden zum Zwecke der Zuchtauswahl (RÖLF 2007). Bei dieser Studie handelt es sich aus Praktikabilitätsgründen vornehmlich um Schlachtpferde mit einem Durchschnittsalter von 15 Jahren. Infolgedessen entspricht das Untersuchungsmaterial nicht der eigentlichen Zielgruppe des RÖLF 2007, zeigt aber eine für diese Arbeit relevante, breite Auswahl an den im RÖLF 2007 gelisteten Befunden. Somit können mehr Befunde und damit fast alle Röntgenklassen überprüft werden. Da das Pferdmaterial schon nach der röntgenologischen Untersuchung durch pathologische Veränderungen im HG/SB größtenteils in die Röntgenklasse III-IV eingestuft wurde, ist eine deutliche Verschlechterung der Röntgenklasse nach der CT-Untersuchung nicht zu erwarten gewesen. Insbesondere jedoch bei den Veränderungen, die nur computertomographisch detektierbar sind, könnte eine Verschlechterung eines in den Röntgenklassen insgesamt besser qualifizierten Pferdmaterials also von Bedeutung sein. Fraglich ist demnach, ob diese als gravierende Befunde bezeichneten Veränderungen unter Umständen mittels weiterer Projektionen zu detektieren gewesen wären und ob diese röntgenologisch und somit im RÖLF 2007 überhaupt hätten erfasst werden können.

Da eine ausführliche Darlegung der Anamnese der Pferde nicht gegeben war, bleibt der Tötungsgrund unklar. Die Anzahl der entsprechenden Befunde ist daher partiell erwartungsgemäß gering. Allgemeingültige Aussagen lassen sich nur begrenzt ableiten. Es wäre zudem aus wissenschaftlichem Interesse erstrebenswert gewesen, die Pferde im Vorfeld einer speziellen Lahmheitsuntersuchung zu unterziehen, um neben dem Vergleich der Methode Röntgen und Spiral-CT auch Aussagen über die klinische Relevanz einzelner Befunde zu erzielen. Aufgrund der mangelnden Korrelation von Klinik und röntgenologischem Befund (VAN HOOGLMOED et al. 2003) wird dies darüber hinaus ohnehin verkompliziert. Schon HERTSCH betont im Vorwort des RÖLF 2007 das Unvermögen, der Forderung weiterer wissenschaftlicher Untersuchungen bezüglich „Probanden eines bestimmten Befundes in Aus-

prägung gleicher Rasse, gleichen Alters, gleichen Geschlechts und definierter gleicher Nutzung und Haltung über einen Zeitraum von zwei bis fünf Jahren“ nachkommen zu können. Andere Studien des Themenkomplexes, Vergleich der Methode Röntgen und CT an der distalen Gliedmaße, beschäftigten sich zudem mit einer weit kleineren Stichprobe. HORSTMANN (2000) untersuchte 84 Gliedmaßenpaare von 29 Pferden. Die Pferde hatten ein geringeres Durchschnittsalter und verstarben entweder spontan oder wurden größtenteils wegen Erkrankungen euthanasiert, die unabhängig von Erkrankungen des Bewegungsapparates auftraten. Die Anamnese war demnach nachvollziehbar, aber irrelevant für die Fragestellung. Nur ein Pferd wurde aufgrund einer Erkrankung des Strahlbeins eingeschläfert. RADEMACHER-SÜß dissertierte 2000 ebenfalls zum Vergleich von Röntgen und CT am Hufgelenk und Strahlbein des Pferdes. Das Untersuchungsmaterial ihrer Arbeit setzte sich aus 20 Vorder- und 20 Hintergliedmaßen zusammen. Der Grund der Euthanasie war gleichermaßen internistischer Natur. Auch in ihrer Studie war eine klinische Voruntersuchung der Pferde nicht möglich. Weitere 40 Gliedmaßen wurden aus dem Patientenmaterial der Pferdeklinik Kerken verwendet. Hier konnte mittels einer Voruntersuchung eine bestehende Lahmheit auf den Hufgelenksbereich eingegrenzt werden. Die Arbeiten von HORSTMANN (2000) und RADEMACHER-SÜß (2000) stellen im Ergebnisteil nur einen vergleichsweise kleinen Ausschnitt ihrer Akquisition des Befundmaterials vor. Dagegen präsentiert die vorliegende Arbeit in den ausgewählten Serienbeispielen zu jedem Befund das entsprechende Röntgenbild sowie die CT-Scans der verschiedenen Ebenen, ggf. werden diese durch die entsprechenden 3D-Rekonstruktionen unterstützt, um dem Betrachter die Vorteile und Grenzen der beiden Verfahren ganzheitlich zu visualisieren. Anschließend dokumentiert ein Foto die Befunde der Präparation und/oder Mazeration. In der Arbeit von HORSTMANN (2000) wurde im Vergleich das Bildmaterial der röntgenologischen und morphologischen Untersuchung nicht dargestellt. Zudem wurden auch nicht alle Befunde nachpräpariert. Auch TIETJE (1995) referierte über den Vergleich der konventionellen Röntgendarstellung des Strahlbeinbereichs und der CT. Sein Untersuchungsmaterial umfasste insgesamt 67 Strahlbeine. Davon wurden 17 Pferde mit einer Erkrankung im distalen Gliedmaßenbereich mit beiden Vordergliedmaßen vorgestellt, 8 Pferde wurden lediglich einseitig untersucht. Darüber hinaus kamen 25 Präparate ohne Informationen über den Tötungsgrund zur Untersuchung. PETERSON und BOWMAN (1988) illustrierten mit ihrer Studie die Korrelation seriell akquirierter CT-Schnitte und anatomischer Querschnittspräparate der distalen Gliedmaßen an sechs Vorderbeinen. Die Pferde wurden alle unabhängig von Problemen an den Vorderbeinen euthanasiert. HERTSCH et al. (1988) verglichen die röntgenologische Darstellung des Strahlbeins beim Pferd mit der Verwischungstomographie, der digitalen Lumineszenzradiographie, der CT- und der MRT-Untersuchung an Schlachtpferden. Sie stellten ihre Ergebnisse für die einzelnen Untersuchungsverfahren an einem ausgewählten Präparat eines Strahlbeins dar. Weitere Studien zum Vergleich Röntgen und CT an der distalen Gliedmaße beschäftigten sich mit speziellen Regionen oder pathologischen Veränderungen des Strahlbeins. RUOHONIEMI und TERVAHARTIALA (1999) richteten das Augenmerk ihrer Studie auf die Darstellung der Sehnengleitfläche des Strahlbeins. Ihr Untersuchungsmaterial bestand aus 12 Vorderbeinen. WHITTON (1998) verglich die diagnostischen Möglichkeiten von Röntgen, CT und MRT an dem Fallbeispiel einer achtjährigen Jagdstute



mit einer durch diagnostische Anästhesien auf den Hufbereich der Vordergliedmaße eingegrenzten Lahmheit.

Somit umfasst die vorliegende Studie mit 200 Gliedmaßen den bisher größten Stichprobenumfang im Vergleich der röntgenologischen und der computertomographischen Untersuchung an der distalen Gliedmaße des Pferdes mit dem Schwerpunkt Hufgelenk und Strahlbein. Eine statistische Auswertung der Vergleichbarkeit der Diagnostikmodalitäten Röntgen und CT ist aufgrund der Differenz der Darstellbarkeit zweier unterschiedlicher Methoden sowie der partiell unterschiedlich benutzten Beurteilungsgrundlage nur begrenzt möglich. Es kann die Häufigkeitsverteilung der einzelnen Befunde für die jeweilige Methode überprüft werden und diese mit den Angaben der Literatur verglichen werden. Zudem können die Befunde überprüft werden, die sich vergleichend mit den unterschiedlichen Beurteilungsbögen bewerten lassen.

### **5.2.2 Anmerkungen zur Röntgenuntersuchung**

Die röntgenologische Untersuchung erfolgte standardisiert nach den Vorgaben des Röntgenleitfadens 2007 mit einem digitalen Röntgensystem der Fa. GIERTH X-Ray international GmbH. Gegenstand des Kataloges sind im Hufgelenk-/Strahlbeinbereich die 90°-Aufnahme (Übersichtsaufnahme der Zehe) sowie die Strahlbein 0°-Aufnahmetechnik modifiziert nach Oxspring (OXSPRING 1935, RÖLF 2007). Der Vergleich verschiedener röntgenologischer Befunde mittels der CT-Untersuchung und anschließender Verifizierung durch Frisch- und Mazerationspräparate überprüft die Darstellbarkeit ossärer Veränderungen durch die lateromediale Übersichtsaufnahme sowie die Strahlbein 0°-Aufnahme und folglich die Einteilung in die verschiedenen Röntgenklassen gemäß RÖLF 2007. Darüber hinaus wird diskutiert, ob und in welchem Maße eine hypothetische Erweiterung der Standardaufnahmen um die Strahlbeintangentialaufnahme an den Vorderextremitäten sowie Oxspringaufnahmen an den Hinterextremitäten sinnvoll sind.

Eine orthograde Abbildung aller Zehengelenke ist mittels der lateromedialen Übersichtsaufnahme nicht realisierbar (TELLHELM 2000, HARTUNG 2006). Zudem kommt die Tatsache, dass bei Abweichung von den 90° der Übersichtsaufnahme, Befunde bezüglich ihrer Darstellung sowie ihrer Form und Größe verändert werden können. Dasselbe gilt für die Aufnahme nach Oxspring oder die tangentielle Skyline-Aufnahme. Aufgrund der divergierenden Strahlung im Rahmen der Übersichtsaufnahme ist es möglich, dass der zu interessierende Bereich nicht direkt vom Zentralstrahl getroffen wird. Das Strahlbein kann dadurch verprojiziert erscheinen (TELLHELM 1988) und eine angemessene Beurteilung des Strahlbeins ist durch eine inadäquate Zentrierung und folglich schiefe Darstellung des Knochens nicht möglich. Die Untersuchung des Strahlbeins mittels drei verschiedener Projektionen ist gemäß UELTSCHI (2002) von daher unerlässlich. Nur wenn das Strahlbein orthograd abgebildet ist, kann das Strahlbein zuverlässig beurteilt werden. Die Möglichkeit, auf der lateromedialen Übersichtsaufnahme feinste Veränderungen am Strahlbein befunden zu können, ist nach den Ergebnissen dieser Arbeit als sehr gering einzustufen. Sie reicht zu einer konkreten Diagnosestellung im Strahlbeinbereich nicht aus. Zusätzlich ist dies besonders im Bereich der röntgenologischen Untersuchung der Hinterbeine ein Problem, da dort eine Oxspring-Aufnahme nicht Gegenstand des RÖLF 2007 ist.

Die Strahlbeintangential-Aufnahme als 55°-palmaroproximo-palmarodistale(tangential) gerichtete Projektion (55° PaPr-PaDiO) ist zwar nicht Gegenstand des RöLF 2007, kann aber im Verdachtsfall im Rahmen der Erweiterung der Standardaufnahmen angefertigt werden (RöLF 2007). Für DYSON (2008) und UELTSCHI (2002) gehört die tangentielle Projektion des Strahlbeins zum optimalen Untersuchungsumfang. In einer Arbeit von DYSON (1993) über den Vergleich der Schmerzausschaltung durch diagnostische Anästhesien des Hufgelenks und der Bursa Podotrochlearis waren 71 % der Strahlbeinveränderungen nur mittels der tangentialen Projektion detektierbar. Die Bedeutung der tangentialen Aufnahme wird jedoch immer wieder kontrovers diskutiert. Manche Autoren dementieren ihre Bedeutung in der Strahlbeindiagnostik. Ihre Beurteilung ist nicht essentiell, da alle Abnormalitäten auch auf den Standardaufnahmen zu detektieren sind (DE CLERQ et al. 2000). Andere Autoren bescheinigen ihr eine große Bedeutung (HORNKAMP 1991), da erst durch sie eine überlagerungsfreie Darstellung der Sehnengleitfläche sowie Spongiosa ermöglicht wird (UELTSCHI 2002). Nach TELLHELM (1988) kann ihr diagnostischer Wert allerdings nur bei höchster Aufnahmequalität voll ausgeschöpft werden, da diese Projektion sehr sensitiv auf geringste Positionsveränderungen reagiert und somit nur eine subjektive Aussagekraft besitzt (WRIGHT 1993). So verändert sich zum Beispiel bei steilerer Winkelung des Röntgenstrahls der Übergang zwischen Kompakta und Spongiosa, die Demarkationszone wird schmaler und deutlicher sichtbar, während bei einem reduzierten Winkel die Oberfläche der Facis flexoria verzerrt erscheint und sich die Kompakta breiter und die Demarkation zwischen Kompakta und Spongiosa undeutlicher darstellt (O'BRIEN et al. 1975). Die Schwierigkeit der optimalen Winkelung wird zudem durch die sehr variable Strahlbeinform, insbesondere der Eminenz des Sagittalkammes, ohnehin erschwert (RUOHONIEMI und TERVAHARTIALA 1999). Die tangentielle Aufnahmetechnik lässt sich darüber hinaus gerade bei unruhigen oder ängstlichen Pferden unter Praxisbedingungen im Rahmen einer Ankaufsuntersuchung ohne Sedierung nur schlecht realisieren (WHITTON et al. 1998). In den Untersuchungen von TIETJE (1995) konnten zudem Kortikalisdefekte oder Unregelmäßigkeiten im distalen Strahlbeinbereich auch mit der Tangentialaufnahme nicht sicher erfasst werden. Sie waren bei Verdacht nur mit zusätzlichen Projektionen unterschiedlicher Winkelung zu detektieren.

### **5.2.3 Anmerkungen zur CT-Untersuchung**

In dieser Studie kamen ausschließlich isolierte Tiefgefrierpräparate zur CT-Untersuchung. Nach der Arbeit von FREY (2002) zur computertomographischen Darstellung des Karpalgelenkes des Pferdes konnten keine Unterschiede bezüglich der Untersuchung von isolierten Gliedmaßenpräparaten und lebenden Pferden oder der Bilddarstellung durch Tiefgefrierpräparate herausgestellt werden. Der optimalen Lagerung der Gliedmaßen eines Pferdes bezüglich der Positionierung zum Lichtvisier und Orientierung in späteren Arbeitsschritten, wie Anfertigung der Rekonstruktionen, wurde mit der artefaktfreien PVC-Röhrenkonstruktion Rechnung getragen. Mittels der Röhre kann insgesamt eine relativ einheitliche Schnittführung etabliert werden. Somit können Symmetriefehler sowie Lageveränderungen, die zu Abweichungen an Gelenken oder im subchondralen Bereich führen, vermieden werden. Durch die Anfertigung des Topogramms können Lageveränderungen darüber hinaus im Vorfeld noch eliminiert und die Gliedmaßen neu positioniert werden (HOFER 2010). Zudem ist bei

der Fixation der zu untersuchenden Region auf ein entsprechendes artefaktfreies Produkt zu achten. Beim Scannen lebender Objekte sollte sowohl die zu untersuchende Gliedmaße als auch die kontralaterale Gliedmaße optimal fixiert werden, um atmungsbedingte Bewegungsartefakte bzw. überlagerungsbedingte Artefakte zu minimieren. Die Mobilität der Tischeinheit gewährt eine flexible Anpassung von Untersuchungsobjekt und Gantry (TIETJE 1997a).

Ein wesentlicher Vorteil der Arbeit besteht in der Benutzung eines Spiral-Computertomographen zur Aufnahme eines Volumendatensatzes, der die Grundlage einer späteren MPR darstellt.

In dieser Arbeit kam ein 16-zeiliger Spiral-Computertomographen (Aquilion 16) der Fa. Toshiba zum Einsatz sowie die VITREA®-Workstation. Dies ermöglicht eine sowohl dezidierte Darstellung der ossären Strukturen als auch ergänzend eine zusätzliche Beurteilung der angrenzenden Weichteile. Mit Hilfe der VITREA®-Workstation können darüber hinaus lokale Auffälligkeiten in den abgebildeten ligamentären und tendinösen Strukturen besser erkannt werden, zumal man mit Hilfe einer Änderung der Bilddarstellungsalgorithmen eine Akzentuierung der Dichteunterschiede in ähnlichen Geweben visualisieren kann. Weitere Sicherheit in der Befundung wird dadurch erlangt, dass man die einzelnen Ebenen ineinander überblenden kann und somit die Orientierung erleichtert wird. Der Volumendatensatz entsteht, indem die zu untersuchende Gliedmaße mit kontinuierlicher Geschwindigkeit längs der Patientenachse durch die jeweilige Ebene bewegt wird und der Detektor mit gleichermaßen kontinuierlicher Geschwindigkeit um das Untersuchungsobjekt rotiert (KALENDER 2006). Dies bringt vor allem entscheidende Vorteile bezüglich der Verringerung atmungsassoziiertter Artefakte und der Verringerung der Dauer der Allgemeinanästhesie mit sich. Gerade wenn mehrere Gliedmaßen oder Bereiche gescannt und das Pferd während der Untersuchung umgelagert werden muss, gewinnt der Untersucher dadurch Zeit. Neben den durch den gerätegekoppelten Rekonstruktionsrechner errechneten 2D-Schnittbildern können dank der Akquirierung von mehrschichtigen Datensätzen mit isotropen Voxeln MPRs in allen drei Ebenen ohne Auflösungsdefizit oder Detailverlust sowie 3D-Oberflächenrekonstruktionen erstellt werden (PROKOP 2007). Da existierende Systeme für die Humanmedizin konzipiert sind, ergeben sich jedoch einige physikalische Restriktionen, wenn lebende Pferde gescannt werden (TUCKER und SANDE 2001). So können die distalen Extremitäten gut untersucht werden (DE BUHR 2002), bei proximalen Körperregionen, beispielsweise Brustwirbelsäule oder Lendenwirbelsäule, und dickeren Körperabschnitten ist eine Positionierung innerhalb gegenwärtig designter Gantry's meist nicht möglich (BARBEE und ALLEN 1986, BARBEE et al. 1987). Ein weiterer Nachteil ist die erforderliche Allgemeinanästhesie. Das Risiko der Anästhesie und der Aufwand zur Positionierung des Pferdes innerhalb der Gantry müssen im Verhältnis zum gewonnenen Informationsgehalt zu rechtfertigen sein (DIK 1993, TUCKER und SANDE 2001).

#### **5.2.4 Anmerkungen zu den Sekundärrekonstruktionen**

Die primäre Bildakquisition erfolgt als Volumenscan, aus der in erster Linie axiale Schichten als Rohdaten zur Beurteilung generiert werden. Zur Darstellung von Veränderungen in der sagittalen oder coronaren Ebene bedarf es eines Softwareprogramms, das aus dem axialen

Datensatz die MPRs errechnet. Darüber hinaus sind auch schräge (oblique) oder gekrümmte (curved) Ebenen vom Untersucher frei wählbar (LIPSON 2006).

Die primäre Schichtdicke sollte dabei so klein wie möglich gewählt werden, um die MPRs möglichst hochauflösend (kleine Kollimation) errechnen zu lassen und damit einen annähernd isotropen Volumendatensatz (Voxel) zu rekonstruieren (FISHMAN et al. 1993).

In der Sekundärrekonstruktion sind hingegen geringfügig dickere Schichtdicken zu wählen, um das Bildrauschen der primären Schicht zu minimieren (ROGALLA et al. 2001) und die anschließende Befundung für den Untersucher zu erleichtern. Zur Akquirierung der axialen, primären Daten wurde in dieser Arbeit eine Schichtdicke von 0,5 mm gewählt. Die MPRs wurden hingegen mit 3 mm Schichtdicke im Knochenfilter (FC 30) rekonstruiert. Die Gliedmaßen wurden in allen drei Ebenen rekonstruiert und befundet. Es zeigte sich, dass dies Fehlinterpretationen vorbeugt. Zudem wurden Veränderungen immer ganzheitlich, d.h. in der Abfolge mehrerer Schichten kontrolliert. In Zweifelsfällen wurde die Gliedmaße darüber hinaus auch im Weichteilfenster (z.B. Abbildung 50, Abbildung 51 – jeweils die rechten Bilder) rekonstruiert, um eine genaue Zuordnung der Veränderungen zu gewährleisten. Die Oberflächenrekonstruktionen wurden zur Veranschaulichung von knöchernen Veränderungen komplexer Bereiche angefertigt und geben dem Untersucher zusätzliche Orientierung (z. B. Abbildung 47). Ein zystoider Defekt wurde beispielsweise erst als solcher angesprochen, wenn er sich in der axialen, sagittalen und der coronaren Ebene (z. B. Abbildung 20) darstellen ließ. Die Befundung der Rekonstruktionen war demnach die erste Eigenkontrolle, die Mazeration die Verifizierung der gewonnenen Daten (z. B. Abbildung 26 ). Bezüglich der Benutzung der CT im Humanbereich wird stetig auf die verbesserten diagnostischen Möglichkeiten durch die Akquirierung von MPRs hingewiesen. Die diagnostische Sicherheit lässt sich nach FLOHR und OHNESORGE (2009) durch die MPRs deutlich steigern.

### **5.2.5 Anmerkungen zur Beurteilbarkeit des Weichteilgewebes**

Die Untersuchungen dieser Studie beziehen sich nur auf die Signifikanz der mittels der VITREA® akquirierten axialen, sagittalen und coronaren Rekonstruktionen bezüglich der knöchernen Strukturen.

Mittels der VITREA® ist die Darstellung des Weichteilgewebes dennoch möglich. Im Bereich der distalen Gliedmaße ist allerdings bei der Diagnostik der an der Podotrochlose beteiligten Weichteilstrukturen der MRT die Präzedenz zu geben. Gegenwärtige Studien, die sich mit dem Vergleich CT und MRT bezüglich der Weichteildarstellung beschäftigen, bestätigen dies (DYSON und MARKS 2003, KOFLER 2007). Bei zweifelhaften Befunden dieser Arbeit wurden diese ebenfalls im Weichteilfenster rekonstruiert, um ihre genaue Lokalisation beurteilen zu können (Abbildung 49, Abbildung 50, Abbildung 51). Dies war jedoch nicht Schwerpunkt der Arbeit, sondern sollte lediglich die diagnostischen Möglichkeiten der VITREA®-Workstation verdeutlichen und der Verifizierung der Daten dienen.

Nach DYSON und MARKS (2003) kann mittels der CT sowohl eine exakte Beurteilung knöcherner Strukturen sowie der korrespondierenden Weichteile im 2- und 3-dimensionalen Bild vorgenommen werden. TUCKER und SANDE (2001) bestätigen, dass mittels der CT Weichteilgewebe und Flüssigkeiten besser differenziert werden können als mittels der PR. Die Identifizierung von verschiedenen Geweben wie Muskeln, Bänder und Sehnen ist darüber

hinaus möglich. Auch abnorme Flüssigkeitsansammlungen und metaplastische Verkalkungen im Bandapparat können dargestellt werden. Die präzise Charakterisierung von Weichteilgeweben mit feinen Dichteunterschieden hingegen bleibt weiterhin der MRT vorbehalten (WHITTON et al. 1998, WIDMER et al. 2000). Obwohl bei der konventionellen Computertomographie ohne Anwendung von Kontrastmittel im Vergleich zur MRT die optimale Evaluation von Erkrankungen des Weichteilgewebes oft kritisch betrachtet wird (KALEBO et al. 1990, WHITTON et al. 1998, WIDMER und FESSLER 2002), gibt es auch Studien, die dies zu widerlegen suchen (ELIASHAR et al. 2006, PUCHALSKI et al. 2007). Die Studien attestieren auch der CT einen diagnostischen Nutzen zur Ermittlung von Weichteilerkrankungen im distalen Extremitätenbereich. Ebenso sprachen KASER-HOTZ et al. (1994) in ihrem Vergleich zwischen der CT und der MRT der CT einen Vorteil zu, da mit ihr sowohl knöcherne Strukturen als auch das Weichteilgewebe evaluiert werden können. Die MRT hat zwar einen Vorteil in der Darstellung des Kontrastes des Weichteilgewebes, die Beschaffenheit des ossären Gewebes ist mit der CT jedoch besser zu beurteilen. Nach TIETJE (1995) gewährleistet die CT eine ausreichende Weichteildarstellung der Bänder, Sehnen und synovialen Einrichtungen im Strahlbeinbereich. Auch KASER-HOTZ (1994) beschrieb eine gute Darstellung von Knochen, Sehnen und Bändern und definierte in ihrer Arbeit unterschiedliche Dichtewerte für die einzelnen Strukturen. 1997 referierte TIETJE über die computertomographische Darstellung des distalen Abschnitts der tiefen Beugesehne des Pferdes. Seine Arbeit bestätigt den diagnostischen Nutzen der CT im Weichteilbereich im distalen Gliedmaßenbereich des Pferdes. Durch die Wahl eines angemessenen Fensters und Nivellierung der akquirierten Daten kann das Weichteilgewebe gut abgegrenzt und klar definiert werden (BRÜHSCHWEIN 2010, PUCHALSKI 2007), insbesondere wenn eine Kontrastmitteluntersuchung durchgeführt wird (BARBEE et al. 1987, OLSAD et al. 2008, VANDERPERREN et al. 2008) und vor allem wenn eine mehrphasige computergesteuerte Kontrastmittelapplikation erfolgen kann, die zur erleichterten Differenzierung von Reizzuständen in den verschiedenen Weichteilgeweben beiträgt. Im Endeffekt ist dies allgemein auch wieder an den Nutzen von modernen Computertomographen und fortschrittlicher 3D-Software gekoppelt (SUNAGAWA et al. 2003). PUCHALSKI et al. (2009) sehen die Kontrastmittel-CT sogar als Alternative zur MRT in der Diagnostik der Tendopathien der tiefen Beugesehne.

Vorteile der CT liegen, neben der gleichzeitigen Darstellung von Knochen und Weichteilen, auch in der Übersichtlichkeit in Bereichen mit komplizierten anatomischen Verhältnissen (TIETJE 1997). Hierzu zählt vor allem die Anatomie im distalen Gliedmaßenbereich, die durch ihre vielen Kompartimente und Bandstrukturen eine hohe Komplexität aufweist. Nach DEL CHICA et al. (2008) schließt sich eine rein radiologische Bewertung komplexer anatomischer Bereiche durch strukturelle Überlagerung aus. Nicht zuletzt wird auch in der MRT-Diagnostik über existierende Limitierungen ihres Gebrauchs in der Pferdemedizin diskutiert. Grund hierfür ist ein Mangel an anatomischer Detailgenauigkeit der Knochenmorphologie (PUCHALSKI 2007), die andererseits mittels der CT optimal evaluiert werden kann (WHITTON et al. 1998). Nach den Untersuchungen von VALLANCE et al. (2011a) betreffend des Vergleichs der Wertigkeiten der Sichtbarkeit verschiedener Strukturen der distalen Gliedmaße und ihrer Veränderungen mittels CT, Kontrastmittel-CT und Niedrigfeld-MRT ergaben sich für die Untersuchungen des Strahlbeins, des proximalen Abschnitts der tiefen Beugesehne (TBS), der Kollateralbänder des Hufgelenks und der seitlichen Strahlbeinbän-

der mittels CT und MRT ähnliche Resultate. Die Niedrigfeld-MRT ist der CT lediglich in der Diagnostik des distalen Abschnitts der TBS, dem Strahlbein-Hufbeinband sowie synovialer Strukturen überlegen. Zudem benötigt die computertomographische Untersuchung einer definierten Region weniger Zeit als eine MRT-Untersuchung im entsprechenden Gebiet (KRAFT und GAVIN 2001). Aufgehoben wird dieser Vorteil lediglich bei der MRT-Untersuchung am stehenden Pferd. Für eine abschließende Beurteilung der einzelnen Bildgebungsmodalitäten fehlte es noch an Untersuchungen, die die CT, die Kontrastmittel-CT und die Niedrigfeld-MRT-Untersuchung in denselben klinischen Fällen vergleichend nutzen (VALLANCE et al. 2012).

Resultierend ist die kritische Auswahl der verschiedenen Modalitäten abhängig von der Art der Läsionen und ihrer Lokalisation. Jede Technik hat ihre Limitierungen. In einigen Studien wurden die einzelnen Vorteile beider Verfahren bereits multimodal im Sinne synergistischer Kooperation genutzt, um den Informationsgehalt an der distalen Extremität zu maximieren (WHITTON et al. 1998, ZARUCCO et al. 2006). Um den Vorteil einer Kombination beider Verfahren weiß die Humanmedizinerin längst und nutzt beide Verfahren an ein und demselben Patienten zur Optimierung der diagnostischen Möglichkeiten. In der Veterinärmedizin ist eine Kombination aufgrund finanzieller und logistischer Restriktion jedoch oft nicht möglich (KRAFT und GAVIN 2001).

#### **5.2.6 Anmerkungen zur Auswertung der Daten**

Es zeigte sich bezüglich der CT-Untersuchung eine einheitlichere Meinung bezüglich pathologischer Veränderungen als in der röntgenologischen Untersuchung, zudem wurden pathologische Veränderungen computertomographisch mit größerer Sicherheit erkannt. Hier war vor allem die Sicherheit durch die Rekonstruktion in verschiedenen Ebenen gewährleistet. Des Weiteren stellte sich bei den Untersuchern eine Verbesserung in der fortlaufenden Befundung neuer Präparate heraus. Zurückzuführen ist dies vor allem auf die Verifizierung bestimmter Läsionen an bereits bearbeiteten Frisch- und Knochenpräparaten und die Auswertung ihrer photographischen Dokumentation.

Insbesondere der Strahlbeinbereich lässt trotz gegenwärtiger Beurteilungsschemata für die Röntgenbilder die Option zur subjektiven Befundung zu. Dies unterstreicht die Schwierigkeit einer exakten Darstellung eines komplexen dreidimensionalen Objektes mittels einer zweidimensionalen Bildgebungsmodalität. Gemäß VALLANCE et al. (2012) unterliegt die Beurteilung von diagnostischem Bildmaterial grundsätzlich einer Subjektivität, insbesondere wenn keine objektiven Messungen (Dichtemessung etc.) benutzt werden. GROTH et al. (2009) untersuchten die Übereinstimmungen mehrerer Untersucher in der Interpretation röntgenologischer und computertomographischer Befunde des Strahlbeins. Sie fanden heraus, dass es eine deutliche Variation zwischen den Ergebnissen zweier Beobachter in der Klassifikation von röntgenologischen und computertomographisch detektierbaren Strahlbeinveränderungen gibt und stellen den Gebrauch von veröffentlichten Klassifizierungsschemata (DIK 1992, KASER-HOTZ und UELTSCHI 1992, WRIGHT 1993, DYSON 2003) für diagnostische und prognostische Zwecke in Frage. Ihre These, dass die Übereinstimmung zweier Untersucher in der CT-Untersuchung gegenüber der röntgenologischen Untersuchung größer sei, konnte mittels ihrer Arbeit nicht belegt werden. Die Übereinstimmung ist für beide Methoden glei-

chermaßen gering. Dies verdeutlicht die Subjektivität einer solchen Methode. Besonders problematisch ist dies in Grenzfällen von „normalen“ und „geringgradig abnormalen“ Strahlbeinen (STOCK et al. 2004). Dennoch konnten diese Autoren in ihrer Studie pathologische Veränderungen mit größerer Sicherheit mittels der CT-Untersuchung befunden. Darüber hinaus stellten sie in ihrer Arbeit fest, dass die Übereinstimmung in der zweifachen Auswertung durch ein und denselben Untersucher sogar schlechter abschnitt als die Übereinstimmung zwischen zwei Untersuchern. Um die Übereinstimmung zwischen den Untersuchern dieser Arbeit zu maximieren und Differenzen bezüglich der Beurteilung weitgehend zu vermeiden, wurde stets der entsprechende Bewertungsbogen benutzt.

### **5.3 Diskussion der Ergebnisse**

Die Menge an Veröffentlichungen über die CT-Untersuchung im distalen Gliedmaßenbereich des Pferdes ist begrenzt (DIEHL und CORDEY 1983, BARBEE und ALLEN 1987, HERTSCH et al. 1988, PETERSON und BOWMAN 1988, PUCHALSKI et al. 2005, RUOHONIEMI und TERVARHATIALA 1999, TIETJE 1995 und 1997, WHITTON et al. 1998, WIDMER und FESSLER 2002). Dies liegt sowohl an der Aufwendigkeit und Kostspieligkeit der Methode als auch an der begrenzten Einsetzbarkeit bezüglich der Diskrepanz zwischen dem Durchmesser des Patienten und dem Durchmesser der Gantry sowie der Notwendigkeit einer Allgemeinanästhesie. Hier sei jedoch nochmals auf die Verkürzung der Anästhesiedauer durch Benutzung eines mehrzeiligen Spiral-Computertomographen hingewiesen.

Dennoch stellt die CT ein optimales Mittel zur Diagnostik im knöchernen Bereich des Hufgelenk-/Strahlbeinbereichs dar (PETERSON und BOWMANN 1988, TIETJE 1995). Erst durch die CT wird eine überlagerungsfreie Darstellung in einem anatomisch so komplexen Bereich gewährleistet (DEL CHICA et al. 2008) und röntgenologisch okkulte Veränderungen detektierbar (RUOHONIEMI und TERVAHARTILA 1999, POULOS 1989, BUTLER et al. 2008). Gerade im Fall der PT ist eine rein radiologisch gestützte Diagnose unangemessen (HERTSCH 1982, TURNER 1986) und der Nutzen fortschrittlicher Diagnostikmedien indiziert (WIDMER und FESSLER 2002).

#### **5.3.1 Strahlbein**

##### **5.3.1.1 Strukturveränderungen**

Die Beurteilung der Struktur des Strahlbeins setzt eine hohe Qualität der Röntgenaufnahme voraus. Die Qualität wird durch den Kontrast und die Schärfe bestimmt. Die Wertigkeit der Strukturbeurteilung der Strahlbeine kann durch den Algorithmus, mit dem die Röntgenaufnahme des digitalen Aufnahmesystems bearbeitet ist, und durch die Möglichkeit der Nachbearbeitung der Röntgenaufnahmen bezüglich des Kontrastes und der Helligkeit verfälscht werden.

Nach HERTSCH und ZELLER (1977) kann die Trabekelstruktur der Strahlbeinspongiosa auf der Oxspring-Aufnahme schlecht beurteilt werden, so dass Dichteunterschiede der Spongiosa gemäß dem RÖLF 2007 ausschließlich als total oder partiell grobmaschig aufgenommen

werden. Eine nähere Differenzierung ist nicht möglich. Veränderungen in der Struktur werden im CT-Befundbogen in Anlehnung an den RöLF 2007 in der Beurteilung der Strahlbeinstruktur als grobmaschig, osteoporotisch oder sklerosiert aufgenommen.

Die CT ermöglicht im Gegensatz zur PR eine frühe Identifizierung von beispielsweise Osteolysen oder Osteogenesen im Rahmen von Knochenumbauprozessen bei verschiedenen Krankheitsbildern (RUOHONIEMI und TERVAHARTIALA 1999, TUCKER und SANDE 2001). Signifikante Dichteveränderungen können zudem mittels quantitativer CT-Dichtemessungen evaluiert werden, um das Wissen über degenerative Gelenkerkrankungen zu komplementieren (DRUM et al. 2009, MÄULE 2002).

Röntgenologisch total und partiell grobmaschig veränderte Strahlbeine werden in dieser Studie auf der Oxspring-Aufnahme mit einer Häufigkeit von je 3,92 % befundet. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Ergebnissen der CT Untersuchung einer grobmaschig veränderten Strahlbeinstruktur von insgesamt 4 %. Die Verteilung an den Vorder- und an den Hintergliedmaßen ist mit jeweils vier Strahlbeinen dabei gleich. Eine Unterteilung in total oder partiell wird computertomographisch wegen des aufwendigen ganzheitlichen Eindrucks durch die Schnittbildtechnik nicht vorgenommen. Die Datenmenge bei 0,5 mm errechneten Schichten ist darüber hinaus dabei nicht kontrollierbar und wird aufgrund der näheren Differenzierungsmöglichkeit der Struktur und ihrer Dichte ohnehin als nicht relevant erachtet.

Röntgenologisch zeigt sich auf der seitlichen Aufnahme an einem der Strahlbeine eine Sklerosierung der Spongiosa. Auf der Oxspring-Aufnahme kann diese Veränderung an sieben Strahlbeinen diagnostiziert werden. In der Arbeit von BAUMANN (2009) konnten hingegen auf der seitlichen Aufnahme keine Sklerosierungen der Spongiosa erfasst werden. Eine sklerotische oder osteoporotische Strahlbeinstruktur konnte auf der Oxspring-Aufnahme nur an einem einzelnen lahmen Pferd dargestellt werden. Zwei Pferde zeigten eine total grobmaschig veränderte Struktur. Partuell grobmaschig veränderte Strahlbeine wurden an 11 lahmen Pferden diagnostiziert.

Computertomographisch präsentieren sich insgesamt 42,5 % der Strahlbeine strukturell verändert. Dabei sind 74 Gliedmaßen von einer mehr oder weniger starken Sklerosierung betroffen. Eine Akzentuierung liegt hier im Bereich der Vorderbeine, die Hinterbeine sind zu 33,67 % sklerotisch verändert. Punktförmige Aufhellungen der Spongiosa sowie Aufhellungen im Sagittalkamm sind davon ausgenommen und werden gesondert betrachtet. Nach HANSON (1994) sowie RUOHONIEMI und TERVAHARTIALA (1999) können auf Röntgenbildern vermutete Sklerosierungen der Spongiosa im CT oft nicht bestätigt werden und werden röntgenologisch somit häufig überinterpretiert. Gemäß O'BRIEN (1975) kann es sich hierbei um Belichtungsfehler oder Zubildungen des proximalen oder distalen Strahlbeinrandes handeln, die sich projektionsbedingt als medulläre Sklerosen auf der tangentialen Aufnahme darstellen. Diese Angaben können mit der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden. Möglicherweise ist dieser Unterschied aber auf die Benutzung eines digitalen DR-Röntgensystems, den Mangel einer tangentialen Aufnahme sowie auf die Benutzung eines modernen Spiral-CTs und einer Rekonstruktionssoftware zurückzuführen. Eine Sklerosierung der Spongiosa kann in unterschiedlichen Stadien auftreten. Im Endstadium ist eine Abgrenzung zur Kompakta kaum noch möglich (DIEHL und CORDEY 1983). Die Trabekelarchitektur kann aufgrund der Einlagerung von Fasergewebe dabei fast vollständig zerstört sein. DIEHL und CORDEY (1983) lokalisierten anhand von Dichtemessungen an



Strahlbeinen mittels axialem Tomographen den Ursprung des Remodellings im Zentrum des Strahlbeins. Die periphere Ausdehnung korrelierte parallel zur Krankheitsprogression. Histologisch wurde diese Annahme durch AMMAN (1987) verifiziert. Sklerosierungen treten zudem häufig im Zusammenhang mit anderen die Strahlbeinstruktur beeinträchtigenden Veränderungen wie veränderten Canales sesamoidales (HERTSCH 1983) oder zystoiden Defekten (AMMAN 1987) auf (HORSTMANN 2000).

Auch in den Ergebnissen dieser Arbeit stellen sich zystoide Defekte und formveränderte Strahlbeinkanäle größtenteils mit einem Sklerosierungssaum dar. Sie werden an anderer Stelle diskutiert. Der Sklerosierungssaum um derartige Defekte zählt in dieser Arbeit jedoch nicht zur Anzahl allgemein sklerotischer Strahlbeine dazu. Für UELTSCHI (1983) stellen die Veränderungen der Strahlbeinstruktur im Sinne einer Sklerosierung wichtige Anzeichen für die Früherkennung einer Podotrochlose dar. Seines Erachtens ist die Beurteilung der Strahlbeinspongiosa mittels der tangentialen Aufnahmetechnik relativ gut möglich. HORNKAMP (1991) bestätigte diese Angabe. Hochgradige Sklerosierungen können oftmals mittels der Skylineaufnahme identifiziert werden. Frühe Stadien partieller Sklerosierung sind jedoch generell beim Röntgen meist nicht differenzierbar. Nach KRAFT und GAVIN (2001) muss für eine röntgenologische Differenzierung von Dichteunterschieden ein Mindestunterschied von 10 % in der Knochendichte vorliegen, um diese ausreichend visualisieren zu können. Im CT ist dies schon ab 0,5 % möglich (PEASE und REDDING 2011).

Veränderungen im Sinne einer Osteoporose sind computertomographisch bei 1,5% der Gliedmaßen zu befunden. Mit 1,96 % ist der Anteil an den Vordergliedmaßen damit ungefähr doppelt so hoch wie im Bereich der Hintergliedmaßen mit 1,02 %. Aufgrund der geringen Anzahl dieser Befund kann hieraus jedoch keine allgemeingültige Aussage über die Gliedmaßenverteilung abgeleitet werden. In der röntgenologischen Untersuchung kann jedoch an keiner Gliedmaße ein derartiger Befund erhoben werden. Gemäß den Angaben von HERTSCH und ZELLER (1976) sowie UELTSCHI (2002) ist die Osteoporose ein weiterer Teilaspekt der Podotrochlose. Mit den gegenwärtigen bildgebenden, hochauflösenden Verfahren ist es meist möglich, reale, definierte Wertebereiche für Trabekel und intertrabekuläre Substanz anzugeben. Über die Festlegung eines festen Schwellenwertes für Knochen und umgebendes Gewebe ist eine Differenzierung möglich (HAIDEKKER et al. 2006).

Es zeigt sich somit, dass die CT-Untersuchung bessere Ergebnisse liefert, je präziser die Fragestellung ist. Darüber hinaus ist die Kontrastierung von Strukturen unterschiedlicher Dichte exakter als in der röntgenologischen Untersuchung (KRAFT und GAVIN 2001).

Um ein total oder partiell grobmaschig verändertes Strahlbein von einem unveränderten Strahlbein zu differenzieren, genügt nach unseren Erkenntnissen eine röntgenologische Untersuchung. Um Veränderungen der Dichte zum frühestmöglichen Zeitpunkt näher spezifizieren zu können, bedarf es jedoch einer CT-Untersuchung.

HERTSCH et al. (1989) attestierten der Computertomographie gleichermaßen eine verbesserte Kontrastauflösung im Vergleich zur klassischen Radiographie. Das Problem der Kontrastreduktion und Kontrastsummation wird durch die Akquirierung von axialen Schnittbildern eliminiert (HANSON 1994). Die hohe Kontrastauflösung bei gleichzeitig guter Raumauflösung ist der Projektionsradiographie deutlich überlegen (BRÜNING et al. 2008).

Aufhellungen im Sagittalkamm des Strahlbeins werden im CT häufig dargestellt, speziell in der proximalen Hälfte, kleinere Aufhellungen im Sagittalkamm kommen hingegen auch in

distalen Abschnitten vor (RUOHONIEMI und TERVAHARTILA 1999). Diese Angabe deckt sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit. Aufhellungen im Sagittalkamm wurden an 13 % aller Strahlbeine festgestellt. Die Hinterbeine wiesen diesen Befund mit 19,39 % mehr als doppelt so häufig auf wie die Strahlbeine der Vordergliedmaße mit 6,86%. Nach BERRY et al. (1992) handelt es sich bei diesen auf der Tangentialaufnahme zu befundenen halbmondförmigen Aufhellungen in der Kompakta des Sagittalkamms um normale Formvarianten einer repräsentierten Verstärkungslinie im Knochen. DYSON (2008) betont in ihren Ausführungen, dass diese Veränderung äußerst selten bei jungen Pferden auftritt. Ihrer Meinung nach repräsentieren die Aufhellungen im Sagittalkamm Anzeichen für frühes Knochenremodelling als Antwort auf einen Stressreiz. Sie korrelieren mit sklerotischen Verstärkungslinien im subchondralen Knochen parallel zu der Region im Sagittalkamm. Der Knochen, der dazwischen zu liegen kommt, ist verhältnismäßig aufgehellte und projiziert sich auf der Skylineaufnahme als mondsichelförmige Aufhellung in den Sagittalkamm. Bei stark verdichtetem Knochen kommt es daher zur Aufhebung dieser Aufhellung.

Röntgenologisch waren jene Aufhellungen in dieser Arbeit weder auf der lateromedialen Projektion noch auf der Oxspring-Aufnahme zu befunden. In der CT-Untersuchung waren darüber hinaus punktförmige Aufhellungen innerhalb der Strahlbeinspongiosa mit einer Häufigkeit von 57 % zu befunden. Die Strahlbeine der Vordergliedmaße waren mit einem Anteil von 62,75 % stärker betroffen als die der Hintergliedmaße mit 51,02 %. Röntgenologisch kann ein solcher Befund nicht erhoben werden. Sie kommen sowohl an unveränderten als auch pathologisch veränderten Strahlbeinen vor.

Strukturveränderungen im Sinne einer Kontinuitätsverletzung der Facies flexoria oder Facies articularis des Strahlbeins können röntgenologisch auf der seitlichen Aufnahme an keiner Gliedmaße befundet werden. Auf der Oxspring-Aufnahme treten sie als Einbruch der Sehnengleitfläche mit einer Häufigkeit von 3,92 % in Erscheinung. Differentialdiagnostisch sind auf der Oxspring-Aufnahme zu befundene zystoide Defekte mit einer Häufigkeit von 0,98 % von Einbrüchen der Sehnengleitfläche abzugrenzen. Zystoide Defekte und Defekte der Sehnengleitfläche („Einbrüche“) des Strahlbeins stellen mit der Einteilung in Röntgenklasse IV gravierende Befunde dar. Unter diesem Aspekt erscheint eine sichere Diagnostik dieser Veränderungen von großer Wichtigkeit. Mittels der lateromedialen Aufnahme des Strahlbeins ist eine orthograde Darstellung des Strahlbeins nicht realisierbar. Auf der dorsoproximopalmarodistal gerichteten 0°-Aufnahme modifiziert nach OXSPRING (1935) sind die Sehnengleitfläche und die Spongiosa des Strahlbeins überlagert vom Huf- und Kronbein, zudem ist diese Aufnahme nur an den Vorderextremitäten obligat.

Die Röntgenaufnahmen dieser Arbeit wurden nach bestem Wissen und im Rahmen der Möglichkeiten angefertigt und repräsentieren damit Röntgenbilder aus der täglichen Praxis, abhängig von der Erfahrung des Untersuchers. Es bleibt jedoch anzumerken, dass die Diagnostik der röntgenologischen Befunde abhängig ist von der Qualität der benutzten Projektionen. Es muss in diesem Zusammenhang daran erinnert werden, dass es sich bei der lateralen Projektion um eine Übersichtsaufnahme handelt.

BAUMANN (2009) referierte über auf der Oxspring-Aufnahme zu befundene Einbrüche der Sehnengleitfläche bei 2,5 % der lahmen Pferde. Zystoide Defekte differenzierte sie an 4,5 % der lahmen Pferde. Computertomographisch ist in dieser Arbeit eine Unterteilung in der Anzahl der Strukturdefekte vorgenommen worden. So war an keiner Gliedmaße nur ein einzel-

ner zystoider Defekt zu befunden. Mehr als ein zystoider Defekt konnte hingegen an 0,5 % der Gliedmaßen sowie ein einzelner Einbruch der Sehnengleitfläche an 5 % der Extremitäten und mehrere Einbrüche an 2 % der Strahlbeine beurteilt werden. Auch an diesen Ergebnissen zeigt sich eine deutlich sicherere Diagnostik von Strukturveränderungen mittels einer CT-Untersuchung. Ohnehin besteht die Gefahr, dass undeutliche Zystoide oft als Artefakte gedeutet werden; die CT-Untersuchung kann eine vermutete Diagnose dahingehend konkretisieren (DEL CHICA et al. 2008). Die CT bietet vor allem in der Eruierung einer Gelenkbeteiligung eines zystoiden Defektes Vorteile. Besonders deutlich kann die Verbindung zum entsprechenden Gelenk mittels der sagittalen Ebene befunden werden. Aufgrund der Schnittbildqualität und der nicht immer ganz geraden Lagerung der Gliedmaßen kann gegebenenfalls nur eine Kerbe in der Gelenkfläche beurteilt werden. Sie zeigt die Gelenkbeteiligung an. Das Wissen um eine Gelenkbeteiligung ist wichtig für die prognostische Einschätzung der Veränderung (SCHÄFER 2004) sowie für die konkrete Einschätzung und Beurteilung des Ausmaßes und der Lage vor chirurgischen Interventionen.

DYSON (2008) berichtet über röntgenologische apparente, zentrische oder azentrische Aufhellungszonen in der Spongiosa, so genannte „cyste-like lesions“, die fast ausnahmslos von klinischer Relevanz sind. Die damit unter Umständen vergesellschaftete Kontinuitätsverletzung der Sehnengleitfläche kann ihrer Meinung nach radiologisch nicht verifiziert werden. Die Aufdeckung dieses Befundes hängt unter anderem davon ab, welcher Teil der Gleitfläche tangential zum Röntgenstrahl liegt und ist somit projektionsabhängig. Die Befundung eines Einbruchs der Sehnengleitfläche ist wegen eventueller Verwachsungen des sich folglich bildenden Granulationsgewebes und der TBS ein wichtiger Aspekt in der Diagnostik. Für eine radiologisch abgesicherte Diagnose müssen nach UELTSCHI (2000) alle Struktur- und Dichteveränderungen ein bestimmtes Ausmaß erreicht haben, Lahmheiten können dann mitunter jedoch schon eine ganze Weile bestehen (HERTSCH 1992). VALLANCE (2012a) zeigt eine verbesserte Diagnostik subchondraler Veränderungen durch den Gebrauch von akquirierten Schichten kleiner oder gleich 1 mm.

Die computertomographische Untersuchung im Bereich des Fesselgelenkes zeigt Ausmaße einer Läsion mit genauen Lagebeziehungen unterschiedlicher Strukturen bereits von 1 mm im Knochenmodus und 3 mm im Weichteilmodus (SINSBECK 1997, KLEITER 1996). Über das Vorkommen computertomographisch detektierter Zystoide im Hufgelenk oder Strahlbein gibt es in der Literatur hingegen nur wenige Angaben (DEL CHICA et al. 2008, HORSTMANN 2000, RADEMACHER-SÜß 2000, RUHONIEMI und TERVAHARTIALA 1999), eine allgemeingültige Aussage lässt sich aus diesen Untersuchungen daher nicht ableiten. Subchondrale Knochenzysten sind ein häufiger Befund an den Strahlbeinen (VON RECHENBERG 1998), ihre klinische Relevanz erreichen sie häufig erst, wenn sie über einen Kanal mit dem entsprechenden Gelenk in Kontakt stehen. Der Defekt an sich ist meist schon mit der Radiographie zu vermuten (z. B. Abbildung 22), die Verifizierung kann nach DYSON (2008) röntgenologisch nicht vorgenommen werden. Die Tatsache, dass die Zystoide mit Zellmaterialien, Flüssigkeiten mineralisierten Knorpelanteilen oder nekrotischem Knochenmaterial gefüllt sein können (SHERLOCK und MAIR 2011, VON RECHENBERG 1998), macht eine diagnostische Kontrastmittelaufnahme, wie von REDDING (2007) zur Verifizierung gefordert, nutzlos (FÜRST et al. 2007). Wird eine rein röntgenologische Verifizierung angestrebt, werden zumindest mehrere Aufnahmen aus verschiedenen Projektionen benötigt

(SHERLOCK und MAIR 2011). Die optimale Projektion hängt darüber hinaus von der anatomischen Lokalisation ab. Allgemein ist die röntgenologische Darstellung zystoider Defekte auf den anterior-posterior Aufnahmen besser als mittels der lateralen Projektion (VAN SUNTUM und HARTUNG 1989).

Diese Angabe deckt sich mit den Ergebnissen dieser Arbeit. Große Zysten werden meist eher diagnostiziert, kleinere Zysten, die mit dem Gelenk artikulieren, können sich der Beurteilung entziehen (TROTTER und DYSON 2003). BUTLER et al. (2008) weist auf einen Mindestunterschied von 30 bis 50 % in der Knochendichte hin, um derartige Aufhellungen röntgenologisch detektieren zu können. Ist gelenknah ein zystoider Defekt diagnostiziert worden, ist das entsprechende Gelenk auf Anzeichen degenerativer Gelenkveränderungen zu beurteilen (SHERLOCK und MAIR 2011). Da viele kleine Defekte aufgrund eines fehlenden Mindestausmaßes dennoch röntgenologisch nicht detektierbar sind, sollten nach DEL CHICA et al. (2008) andere bildgebende Verfahren zu ihrer Bestätigung herangezogen werden.

Die CT hingegen ermöglicht eine wesentlich detailliertere Beurteilung von zystoiden Defekten und Einbrüchen der Sehnengleitfläche in ihrer Größe und eventuellen Gelenkbeteiligung (AUER et al. 2001). Die Möglichkeit der Untersuchung des subchondralen Knochenbereichs kann die Vermutung auf eine Gelenkbeteiligung untermauern (z. B. Abbildung 14). Für die Läsionen sind computertomographisch eine hypodense Zone und ein hyperdenser Hof charakteristisch (HANSON et al. 1996). Darüber hinaus kann eine Zyste anschließend in allen Ebenen rekonstruiert werden. Die angefertigten Rekonstruktionen der vorliegenden Arbeit demonstrieren dies eindrucksvoll (z. B. Abbildung 20).

#### **5.3.1.2 Veränderte Canales sesamoidales**

Vergrößerte, deformierte und von der physiologischen Lage abweichende Canales sesamoidales erlangen nach WHITTON et al. (1998) und HERTSCH et al. (1989) im CT eine exaktere Darstellung als auf dem Röntgenbild.

HORSTMANN (2000) konstatierte eine vereinfachte Beurteilung der Anzahl und Ausprägung der Kanäle im CT-Bild gegenüber dem korrespondierendem Röntgenbild. Seines Erachtens ergibt sich aber aufgrund der schon sehr guten röntgenologischen Darstellung dennoch keine Veränderung in der abschließenden Beurteilung. Nach den Angaben der Literatur wird die Anzahl von Kanälen röntgenologisch unterschiedlich bewertet.

Nach RIJKENHUIZEN et al. (1989) sind bis zu fünf Kanäle tolerierbar, wobei diese nicht tiefer als ein Drittel der Strahlbeinbreite reichen sollten. DYSON (1988), POULOS und SMITH (1988) und PARK (1989) hingegen erachten vier bis sechs Kanäle als normal. Nach den Untersuchungen von HERTSCH und STEFFEN (1986) waren am häufigstens drei bis sieben Kanäle an den Strahlbeinen zu diagnostizieren. Als lang werden Kanäle bezeichnet, die über  $\frac{1}{4}$  der Strahlbeinbreite reichen. Dahingehend wurde im vorliegenden CT-Befundungsbogen eine Einteilung von bis zu drei und von vier bis sieben Kanälen vorgenommen sowie diese noch durch den Zusatz der begleitenden oder fehlenden Sklerosierung klassifiziert. Zudem wird die Lage der Kanäle am proximalen oder distalen Rand sowie im schrägen Seitenteil in Anlehnung an den RÖLF 2007 registriert. Nach HERTSCH (1983) wird eine korrespondierende Sklerosierungszone um die Kanäle bei gleichzeitig gleichmäßig feinmaschiger Strahlbeinspongiosa als prognostisch günstig erachtet. Prognostisch ungünstig hingegen erachtet

er eine inhomogene Trabekelstruktur der Spongiosa bei gleichzeitig fehlender Sklerosierungszone im Randbereich der Kanäle. Im RÖLF 2007 ist die Beurteilung einer speziell auf die Kanäle bezogenen Sklerosierungszone nicht aufgeführt. In der CT ist die Anzahl an Kanälen ohne Sklerosierung höher als die Anzahl an Kanälen mit korrespondierendem Sklerosierungsraum.

Der RÖLF 2007 konzentriert sich nur auf die Form und den Lageaspekt der Canales sesamoidales. Die Anzahl der Kanäle wird nicht erfasst. Darüber hinaus sind Doppelbelegungen der einzelnen Punkte an einer Gliedmaße möglich. Mit der RÖKI. I zu bewertene Erscheinungen wurden in dieser Arbeit nicht ausgezählt. Sie ergeben sich aus der Differenz der in Lage und Form veränderten Kanäle zu den unveränderten. Nach HERTSCH (1992) sind Zahl und Form der Kanäle äußerst variationsreich. Die im RÖLF 2007 erfassten Formveränderungen entsprechen näherungsweise den Ausführungen von HERTSCH und STEFFEN (1986), in denen sie deformierte und nicht deformierte sowie endständig kolbig erweiterte und endständig verzweigte, eingebuchtete, konische sowie schmale und gerade Kanäle unterscheiden. Gemäß SEYREK-INTAS et al. (1999) haben die so genannten Lollipops, d. h. großlumig erweiterte Kanäle, die größte klinische Relevanz. Im RÖLF 2007 werden sie als großkolbig veränderte Kanäle mit der RÖKI. III-IV bewertet.

Die Häufigkeiten der einzelnen röntgenologischen Formveränderungen der Kanäle sind Tab. 14 zu entnehmen. Schmale, spitze, breite, konische oder zylindrische Kanäle wurden an 68,63 % der Strahlbeine diagnostiziert. Sie stellen die Differenz zu den in Lage und Form veränderten Kanälen dar. Im Rahmen der veränderten Canales sesamoidales können an 23,53 % der Strahlbeine röntgenologisch kleinkolbige Kanäle diagnostiziert werden. Großkolbige Kanäle sind hingegen nur an 15,69 % der Strahlbeine zu befunden. Verzweigte kommen mit einem Anteil von 10,78 % vor. BAUMANN (2009) konnte in ihren Untersuchungen bei 94 % der lahmen Pferde schmale, spitze, breite, konische und zylindrische Kanäle diagnostizieren. 21 % zeigten kleinkolbige Kanäle, bei 23 % hingegen konnten großkolbige Kanäle differenziert werden. Verzweigte Kanäle kamen zu 7 % vor.

Angesichts der Erkenntnis, dass Formbewertungen in der Darstellung eines Schichtaufnahmeverfahrens wie der CT mangels eines ganzheitlichen Eindrucks des Knochens zwar beurteilt werden können, es aber bei der geringen Schichtdicke von 0,5 mm zu aufwendig ist, die Kanäle in ihrer gesamten Länge darzustellen, ist der Formaspekt im CT-Befundbogen nicht evaluiert worden. Die ganzheitliche Darstellung von Formen oder Konturen ist im Allgemeinen optimal mittels der 3D-Rekonstruktion möglich. Im Bereich der Kanäle ist sie aber aufgrund ihres Charakters einer Oberflächendarstellung sowie des filigranen Aufbaus der Kanäle sehr aufwendig und nicht besonders praktikabel. Ein ganzheitlicher Eindruck entsteht erst, wenn mehrere Scans hintereinander betrachtet werden. Bei der in dieser Arbeit gewählten extrem kleinen Schichtdicke ist die immense Menge an CT-Schnittbildern daraufhin nicht kontrollierbar. Eine statistische Auswertung des Formbefundes ist im CT daher nicht möglich. Nach TIETJE (1995) kann allgemein der Formaspekt zudem lagerungsbedingt abweichen. Bei der Beurteilung der Gesamtform eines Knochens ist dies ebenfalls zu berücksichtigen. Formveränderungen kleinerer Objektdetails können seiner Meinung nach gut diagnostiziert werden. Diese werden in dieser Arbeit unter Kontur-Zubildungen erfasst.

Proximale Kanäle können röntgenologisch an 6,86 %, computertomographisch nur an 4 % der Strahlbeine beurteilt werden. Dieser Befund trat zudem nur an den Vordergliedmaßen auf. BAUMANN (2009) referiert über eine Häufigkeit von 3 % proximaler Strahlbeinkanäle.

Kanäle des proximalen Randes werden von HERTSCH und ZELLER (1976) als ernstzunehmende Anzeichen im Hinblick auf die PT gewertet. Kanäle im Übergang zum schrägen Seitenteil wurden nur röntgenologisch erfasst. Hier kommen sie mit einer Häufigkeit von 41,18 % vor. Kanäle im schrägen Seitenteil können röntgenologisch an 15,69 % und computertomographisch an 4,5 % der Strahlbeine diagnostiziert werden.

Vergleichende Ergebnisse zeigte BAUMANN (2009) mit 42 % der betroffenen lahmen Pferde, die gemäß RÖLF 2002 Canales ses. dist. schräg aufweisen (2.5., RöKl. III-IV). Gemäß dem RÖLF 2002 fehlt allerdings eine Differenzierung der Lokalisation von Kanälen im schrägen Seitenteil (RöKl. III-IV, RÖLF 2007) und am Übergang zum schrägen Seitenteil (RöKl. II-III, RÖLF 2007).

Computertomographisch ist die Differenzierung von Kanälen am Übergang zum schrägen Seitenteil und im schrägen Seitenteil im Zuge des fehlenden ganzheitlichen Formaspektes des Strahlbeins allgemein schwer zu beurteilen. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Radiographie im Bereich der Lokalisation der Strahlbeinkanäle der CT überlegen ist. Dies ist vor allem auf die dünne Schichtdicke und somit große Menge an Einzelschichten zurückzuführen, die einen einheitlichen Gesamteindruck der Kanäle bezüglich ihrer Form nur mit sehr großem Aufwand gewähren. Angesichts der fraglichen Korrelation von veränderten Strahlbeinkanälen und dem klinischen Bild des Pferdes sowie der guten röntgenologischen Darstellbarkeit auf der Oxspring-Aufnahme trotz Überlagerungen reicht für diesen Befund die röntgenologische Darstellung nach den Ergebnissen dieser Arbeit aus.

### **5.3.1.3 Kontur-Zubildungen**

HERTSCH et al. (1988) erachteten die Konturauflösung in der CT in ihren Untersuchungen an isolierten Strahlbeinpräparaten gegenüber der Radiographie als benachteiligt. Auch WERPY (2010) bestätigt mit seinen Untersuchungen diese Aussage. Nach den Ausführungen von TIETJE (1995) hebt sich dieser Vorteil der Radiographie aber zu Lasten der Überlagerung im Röntgenbild wieder auf.

In der vorliegenden Arbeit werden Kontur-Zubildungen röntgenologisch gemäß dem RÖLF 2007 in Zubildungen am proximalen sowie distalen Rand und im Bereich der Seitenenden wie auch des Übergangs zum schrägen Seitenteil unterteilt. Isolierte Verschattungen am Übergang zum schrägen Seitenteil werden unter dem Aspekt der Kontur-Zubildungen mit erfasst.

Nach DÄMMRICH (1983) werden Zubildungen des proximalen Strahlbeinrandes entweder als Enthesiophytenbildungen im Bereich der Insertionsstelle des Fesselbein-Strahlband-Hufbeinbandes oder als knöcherne Metaplasien der am Strahlbein inserierenden proximalen Hufgelenkkapsel als Reaktion auf Hufgelenkdistorsion interpretiert. Im Bereich des distalen Strahlbeinrandes handelt es sich in der Regel um ein die Sehnengleitfläche in distaler Richtung verlängerndes, schalenförmiges, appositionelles Knochengewebe zur Verstärkung der Insertion des Strahlbein-Hufbeinbandes (TOTH 1989). Die Verstärkung der Strahlbeinbänder durch spongiöse Exostosen- oder Faserbildung wird von DÄMMRICH et al. (1983) als Aus-

druck übermäßiger und ungleichmäßiger Zugbelastungen auf Ursprünge oder Insertionen gewertet. DYSON (2010) spricht von Knochenumbauprozessen an Insertionsstellen als Antwort auf einen Stressreiz. DYSON (2008) berichtet darüber hinaus über Zubildungen der Sehnengleitfläche zentral um den Bereich des Sagittalkammes, welche röntgenologisch optimal mittels der (schrägen) tangentialen Projektion bewertet werden können.

Die computertomographische Erfassung von Konturveränderungen ist in dieser Arbeit noch weiter differenziert worden. Zum einen werden geringgradige Formveränderungen der Strahlbeinränder beurteilt. Sie stellten sich in der Regel als wellenförmige Konturveränderung des proximalen Randes dar. Zum anderen werden Ausziehungen als Zubildungen bewertet. Die Form des Sagittalkammes variiert in der Pferdepopulation deutlich. Das Phänomen, das die gesamte Form in unterschiedlichen Teilen des Strahlbeins zu variieren scheint, kann jedoch durch die röntgenologische, partielle Überlagerung teilweise vorgetäuscht werden (RUOHONIEMI und TERVAHARTILA 1999).

Die Form des Strahlbeins niederländischer Warmblutpferde wird als erbliche Komponente betrachtet (DYSON 2008 und 2011). Der proximale artikuläre Rand kann sich dabei konvex, horizontal oder wellenförmig darstellen. Bei eben diesen Warmblütern stellte sich durch die Arbeiten von DIK und VAN DEN BROEK (1995) heraus, dass Pferde, deren proximaler Strahlbeinrand eine konvexe oder horizontale Form darstellt, einem geringeren Risiko unterliegen, an PT zu erkranken im Vergleich zu den Pferden, deren proximaler Strahlbeinrand eine wellenförmige oder konkave Form präsentiert. Diese Angaben konnten bisher durch keine weiteren Studien bestätigt werden.

In der vorliegenden Arbeit stellten sich an jeweils nur zwei Vordergliedmaßen im CT derartige wellenförmige Konturveränderungen sowohl des proximalen als auch des distalen Randes dar. Von diesen geringgradigen Formveränderungen des Strahlbeins sind knöcherne Zubildungen des proximalen und/oder distalen Randes sowie der Seitenteile medial und/oder lateral zu unterscheiden. Nach HERTSCH (1982) zählen sie zum Themenkomplex der Insertionsdesmopathien des Strahlbeins und positionieren sich als unabhängiger Teilaspekt im Rahmen der Strahlbeinerkrankungen. Zubildungen des proximalen Randes können röntgenologisch auf der seitlichen Aufnahme an 9,5 % und auf der Oxspring-Aufnahme an 5,88 % der Strahlbeine beurteilt werden. Zubildungen an den Seitenteilen des Strahlbeins konnten an keiner Gliedmaße identifiziert werden. Die Diskrepanz der Häufigkeit kann sowohl durch die Subjektivität der Untersucher (GROTH 2009) als auch durch die Überlagerung des Strahlbeins durch das Kronbein auf der Oxspring-Aufnahme begründet sein. BAUMANN (2009) referiert über 25 % lahmer Pferde, die den Befund Zubildungen des proximalen Randes (oder am Strahlbeinseitenende) im lateromedialen Strahlengang aufweisen. Auf der Oxspring-Aufnahme sind es 4 % der lahmen Pferde mit proximalen Konturzubildungen und 42 % mit spitzen Konturveränderungen der Seitenteile des Strahlbeins. Der Vergleich dieser Häufigkeitsverteilung unterstreicht die Aussage von GROTH (2009) über die Subjektivität der Untersucher oder ggf. Überlagerungen durch das Kronbein.

Computertomographisch hingegen waren an 15 % der Strahlbeine Zubildungen des proximalen Randes zu diagnostizieren. Mit 24,51 % lag die Verteilung deutlich höher an den Vordergliedmaßen vor. 5,10 % der Strahlbeine der Hintergliedmaßen waren davon ebenfalls betroffen.

Am distalen Rand am Übergang zum schrägen Seitenteil sind in dieser Arbeit auf der Oxspring-Aufnahme röntgenologisch keine Veränderungen in Form einer Zubildung ersichtlich. Auch BAUMANN (2009) konnte diesen Befund in ihren Untersuchungen nicht erheben. In der CT-Untersuchung präsentieren sie sich an 10 % der Extremitäten. Die Verteilung ist hier mit 12,75 % an den Vordergliedmaßen fast doppelt so hoch wie im Bereich der Hintergliedmaßen. Die Seitenteile stellen sich röntgenologisch unverändert dar, computertomographisch ist die Kontur nur an 1,5 % der Strahlbeine durch laterale Zubildungen verändert. WIDMER (2000) interpretiert proximale und distale Zubildungen an den Strahlbeinrändern als Anzeichen einer PT. KETTNER (2003) unterstellt der Angabe der Lokalisation von Zubildungen am proximalen Rand eine Ungenauigkeit. Diese ist auf die komplexe Anatomie im Gebiet der distalen Gliedmaße zurückzuführen, insbesondere auf die projektionsbedingte Überlagerung des Strahlbeins durch das Kronbein.

Randexostosen der Strahlbein-Hufbein-Hilfsgelenkfläche kommen auf der seitlichen Aufnahme an 1 % der Strahlbeine vor. In der CT-Untersuchung konnte dies nicht bestätigt werden. Hier ist auf die Möglichkeit einer verprojizierten Darstellung des Strahlbeins im Rahmen der Übersichtsaufnahme hinzuweisen (TELLHELM 1988); der Verdacht auf knöcherne Fragmente kann somit eine radiologische Überinterpretation darstellen.

Strukturelle Überlagerungen in komplexen anatomischen Bereichen schließen nach DEL CHICA et al. (2008) eine definitive radiologische Bewertung daher aus. Lagerungsbedingte Formabweichungen konnten in dieser Arbeit durch die Benutzung der PVC-Röhrenkonstruktion annähernd ausgeschlossen werden. Insbesondere bei den Zubildungen am distalen oder proximalen Rand des Strahlbeinbereichs am Übergang zum schrägen Seitenteil müssen diese differentialdiagnostisch von isolierten Verschattungen in diesem Bereich abgegrenzt werden. Auf der axialen Rekonstruktion ist dies meist schwieriger als auf der sagittalen Rekonstruktion. Erst in der sagittalen Rekonstruktion kann eine isolierte Verschattung sicher von Zubildungen abgegrenzt werden.

Mit den vorliegenden Ergebnissen scheint die Konturauflösung der CT besser als von HERTSCH (1988) erachtet. Nach den vorliegenden Ergebnissen ist dies vor allem an die Möglichkeit der Akquirierung von MPRs, insbesondere der sagittalen Rekonstruktionen, und somit der Spiral-CT gebunden. Ein ganzheitlicher Eindruck der Form und Kontur kann darüber hinaus vor allem auch in der 3D-Rekonstruktion gewonnen werden. Aufmerksamkeit ist jedoch bei kleinen Konturveränderungen gegeben, da im Rahmen der Oberflächendarstellung kleinste Zubildungen im Zuge der Benutzung verschiedener Interpolationsalgorithmen eliminiert werden können (HORSTMANN 2000). Auch WHITON et al. (1998) betonten in ihrem methodischen Vergleich zwischen Röntgen, CT und MRT, dass beispielsweise die Kontur der Facies flexoria ihre optimale Darstellung erst in der Spiral-CT findet. TIETJE (1995) konstatierte die Möglichkeit der verbesserten Beurteilung der Seitenflügel sowie Beschaffenheit der Gelenk- und Gleitflächenoberfläche im CT. Knöcherne Zubildungen, die im Röntgenbild beispielsweise am Sagittalkamm vermutet wurden, fanden in transversalen Rekonstruktionen der Arbeit von RUOHONIEMI und TERVAHARTILA (1999) hingegen keine Bestätigung. Röntgenologisch unveränderte proximale Strahlbeinränder zeigten dagegen in ihren Ergebnissen mitunter minimale palmaroproximale Enthesiophytenbildungen oder geringgradige Erhöhungen in der Medianen des proximalen Randes in sagittalen Rekonstruktionen. Es ist immer ratsam, die radiologische Information aller Projektionen aufzusum-



mieren und zu kombinieren und eine kritische, achtsame Einstellung gegenüber Veränderungen, die sich nur in einer Projektionsrichtung darstellen, zu wahren. Eine exakte Bewertung der Form und Struktur, vor allem des Sagittalkammes, kann röntgenologisch nicht an allen Strahlbeinen vorgenommen werden. Des Weiteren konnte in ihrer Arbeit ein auf Röntgenaufnahmen befundeter, irregulärer Strahlbeinrand oder Anzeichen knöcherner Zubildungen in sagittalen Rekonstruktionen nicht bestätigt werden. Ein in der Oxspring-Aufnahme befundeter, irregulärer distaler Strahlbeinrand sowie eine knöcherne Zubildung am distalen Rand ergaben in transversalen Rekonstruktionen einerseits einen völlig regulären, weich konturierten Rand sowie ein ausgeheiltes dorsal luxiertes Fragment einer Avulsionsfraktur. Das Fragment konnte radiologisch nicht diagnostiziert werden.

#### **5.3.1.4 Isolierte Verschattungen**

Seit 1973 wird über röntgenologisch diagnostizierbare Chip-Frakturen des distalen Randes berichtet (NUMANS und VAN DE WATERING 1973). Trotz bestehender Unsicherheit über die klinische Relevanz (RUOHONIEMI und TERVAHARTIALA 1999, VERSCHOOTEN et al. 2003) spricht ihr Auftreten für eine Vergesellschaftung mit dem PT-Komplex (BIGGI und DYSON 2011). BLUNDEN et al. 2006 sowie BIGGI und DYSON 2011 berichten über eine höhere Prävalenz bei lahmen Pferden als bei gesunden. Die Wahrscheinlichkeit einer klinischen Relevanz wächst mit der Abnahme der Dichte benachbarter Bereiche des distalen Strahlbeinrandes (DYSON 2011). Auch in der Arbeit von KASER-HOTZ und UELTSCHI (1992) ist ihre Prävalenz bei gesunden Verkaufspferden gering. Die Frage nach der klinischen Relevanz könnte darüber hinaus mit unterschiedlichen Stadien des pathologischen Geschehens und der damit verbundenen Schmerzauslösung beantwortet werden (DYSON und MURRAY 2007).

Analog zu den Untersuchungen von DYSON et al. (2010) und BIGGI und DYSON (2011) stellen die isolierten Verschattungen in dieser Arbeit Begleitveränderungen anderer pathologischer Veränderungen an den Strahlbeinen dar, wie z. B. eine erhöhte Anzahl von distalen Strahlbeinkanälen, Aufhellungen am Übergang zum schrägen Seitenteil des Strahlbeins, eine irreguläre Kontur des distalen Strahlbeinrandes oder Strukturveränderungen in Form zystoider Defekte (Abbildung 23, Abbildung 24, Abbildung 26). BIGGI und DYSON (2011) konnten in ihren Untersuchungen eine Vergesellschaftung mit der Verlängerung der Sehnengleitfläche nicht bestätigen. DE CLERQ et al. (2000) präzisieren die Fragmente neben zystoiden Defekten oder Einbrüchen der Sehnengleitfläche als wichtige Befunde in der Diagnostik von Strahlbeinveränderungen. Ätiologisch kann es sich um Avulsionsfrakturen des distalen Strahlbeinrandes, metaplastische Verkalkungen im Bandapparat des Strahlbeins im Sinne synovialer Hyperplasie (synoviale Osteome) oder separate Ossifikationszentren (VERSCHOOTEN et al. 2003) handeln (POULOS et al. 1989, WRIGHT 1993, DYSON 2008, BIGGI und DYSON 2010 und 2011). Fragmente kommen sowohl uni- als auch bilateral vor, können lateral (z. B. Abbildung 32) oder medial (z. B. Abbildung 39) lokalisiert sein. Größere Fragmente des distalen Strahlbeinrandes werden meist medial präzisiert (POULOS 1989). Diese Angabe deckt sich mit der Anzahl von isolierten Verschattungen des distalen oder proximalen medialen Strahlbeinrandes der vorliegenden Arbeit. In den Untersuchungen von

BIGGI und DYSON (2011) wurden sie bei lahmen Pferden zu 66,6 % lateral und zu 33,3 % medial lokalisiert.

Röntgenologisch können in der vorliegenden Arbeit isolierte Verschattungen des distalen Randes am Übergang zum schrägen Seitenteil insgesamt nur mit einer Häufigkeit von 1,96 % diagnostiziert werden. Gemäß dem RÖLF 2007 ist eine Unterteilung in lateral oder medial lokalisierte Fragmente nicht vorgenommen worden. Der RÖLF 2007 bietet zudem nur auf der 90°-Aufnahme eine Klassifizierung von Verschattungen am Strahlbeinseitenende oder proximalen Strahlbeinrand an. Eine Differenzierung ist hier nicht relevant. Auf der Oxspring-Aufnahme werden isolierte Verschattungen des proximalen Randes nicht befundet. Die Überlagerung der röntgenologisch komplexen abgebildeten Strukturen ist besonders bei der Befundung der isolierten Verschattungen ein Problem. Nach DYSON (2011) und POULOS (1989) können die Fragmente relativ gut auf der Oxspring-Aufnahme diagnostiziert werden. Auch VERSCHOOTEN et al. (2003) weisen auf eine bessere Darstellung der isolierten Verschattungen auf der Oxspring-Aufnahme im Gegensatz zur lateromedialen Aufnahme hin. Die beste Visualisierungsmöglichkeit erlangt man ihres Erachtens jedoch mittels der CT. Der Verdacht auf ein Fragment lässt sich nach BUTLER et al. (2008) mittels schräger Oxspring- und nach DYSON (2008) mittels der Skyline-Aufnahme erhärten. Auf der 90°-Aufnahme kann hingegen meist nur ein unruhig konturierter Strahlbeinrand befundet werden (POULOS 1989). In der Arbeit von BIGGI und DYSON (2011) wurden minimal vier verschiedene Röntgenprojektionen für ihre Diagnostizierbarkeit herangezogen (lateromedial, dorsoproximal-palmarodistal oblique und proximodistal oblique mit verschiedenen Winkeln (50° und 65°)). In der Gruppe der lahmen Pferde konnten Fragmente des distalen Randes immerhin an 8,7 % der Pferde diagnostiziert werden. Ihre Identifizierbarkeit steigt daher mit der Anzahl der verschiedenen Projektionen. Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass sich im Rahmen der Übersichtsaufnahme insbesondere der distale Strahlbeinrand jedoch stets nur unzureichend beurteilen lässt. Dies deckt sich mit den Angaben von GROTH et al. (2009) und RIJKENHUIZEN (2006), die ebenfalls eine große Unsicherheit in der röntgenologischen Darstellung dieser isolierten Verschattungen sehen. Der oftmals geringe Mineralisierungsgrad der Fragmente führt zu einem nur geringen Objektkontrast. Isolierte Verschattungen können daher sehr leicht übersehen werden (UELTSCI 2002). Gemäß den Angaben von BUTLER et al. (2008) muss für einen entsprechenden Objektkontrast ein Mindestunterschied von 40 % in der Mineralisierung und somit der Knochendichte vorliegen.

So zeigen sich computertomographisch eine deutlich verbesserte Diagnostizierbarkeit der isolierten Verschattungen sowie die Möglichkeit zur differentialdiagnostischen Abklärung ihrer Ätiologie.

Im CT wurden knöcherne Fragmente am proximalen Rand an insgesamt 2,5 % der Gliedmaßen befundet, während sie am distalen Rand mit einer Häufigkeit von insgesamt 6 % vorkommen. Nach der Rekonstruktion von fraglichen Befunden im Weichteilfenster, d. h. Fragmenten, die ohne Veränderungen des etwaig beteiligten Strahlbeinrandes im Sinne eines Frakturbettes befundet wurden, konnte ihre Lokalisation und Ätiologie näher differenziert werden (z. B. Abbildung 49, Abbildung 50, Abbildung 51). Abhängig von ihrer Lage handelt es sich bei zwei der isolierten Verschattungen am proximalen Strahlbeinrand um eine Verkalkung des Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinbandes. Verkalkungen im Bereich des Strahlbein-Hufbeinbandes kommen in den Ergebnissen dieser Arbeit hingegen nicht vor. Dies deckt

sich mit den Angaben von DYSON (2008 und 2011), die generell eine geringere Häufigkeit für isolierte Verschattungen des proximalen Randes beschreibt. Nach KASER-HOTZ (1991) resultiert eine Fraktur des proximalen Randes aus einwirkenden hohen Kompressionskräften wie bei der Dislokationen des Kronbeins oder Hyperflexion des Hufgelenkes. Bei den distalen isolierten Verschattungen konnte in der coronaren Rekonstruktion stets eine Veränderung des distalen Strahlbeinrandes im Sinne eines Frakturbettes nachgewiesen werden (z. B. Abbildung 39, rechtes Bild). Kallusformation konnte darüber hinaus nicht befundet werden. Auch BIGGI und DYSON (2010) konnten in den MRT-Untersuchungen stets Frakturbette darstellen. Nach RUOHONIEMI und TERVAHARTIALA (1999) charakterisieren diese Befunde die Fragmente im Sinne einer Avulsionsfraktur.

Die Ermittlung eines etwaig vorhandenen Frakturbettes kann die Lokalisation bzw. den Ursprung dieser Fragmente differentialdiagnostisch abklären. Die Präsenz eines Frakturbettes konnte in dieser Arbeit optimal mittels der coronaren Rekonstruktion befundet werden (z. B. Abbildung 39, rechtes Bild). Bei fraglichen Befunden bezüglich der genauen Lokalisation der Verschattungen können die entsprechenden Verschattungen auch im Weichteilfenster rekonstruiert werden. Dies erleichtert die Differenzierung zur dystrophischen Mineralisation (z. B. Abbildung 49, Abbildung 50, Abbildung 51). Die Ergebnisse bestätigen somit die Arbeiten von BUTLER et al. (2008) sowie RUOHONIEMI und TERVAHARTIALA (1999). Analog zu diesen Angaben wird in der vorliegenden Arbeit eine verbesserte Diagnostik durch computertomographische Untersuchungen im Rahmen der Detektierbarkeit von röntgenologisch okkulten, isolierten Verschattungen an den Strahlbeinrändern erachtet.

#### **5.3.1.5 Kortikomedulläre Demarkation**

In den Ergebnissen dieser Arbeit stellte sich der kortikomedulläre Übergang an strukturell unveränderten Strahlbeinen im CT stets kontrastreich dar. An sklerotisch veränderten Strahlbeinen ist eine deutliche Demarkation zwischen Kompakta und Spongiosa hingegen nicht mehr darstellbar. Die hohe Kontrastauflösung der CT ist der PR bei gleichzeitig guter Raumauflösung deutlich überlegen (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER 1999).

### **5.4 Hufgelenk**

Nach DEL CHICA et al. (2008) kann das Ausmaß degenerativer Gelenkerkrankungen optimal mittels der computertomographischen Untersuchung bewertet werden. Insbesondere in der Darstellung von Gelenken und beteiligten Weichteilstrukturen ist die CT-Untersuchung der Radiographie deutlich überlegen. Wichtig ist dies vor allem in der Früherkennung der OA (CARRIG 1997). DROMMER (1992) sieht die Hufgelenksarthrosen als eine sekundäre Erscheinung in Folge des Podotrochlosesyndroms.

#### **5.4.1 Defekte der subchondralen Knochenplatte**

Mit ca. 60 % stellen die Gelenkerkrankungen bei Sportpferden die Hauptursache für einen Trainingsausfall und damit verbundene vorzeitige Beendigung ihrer Sportkarriere dar (KAWCAK et al. 2011). Der subchondrale Knochen ist dabei regelmäßig beteiligt.

Osteochondrale Frakturen, Sklerosierungen, osteochondrale Fragmentlösung, ein totaler Zusammenbruch ossärer Strukturen und Osteochondrose sind die Folgen einer subchondralen Knochenschädigung.

In dieser Arbeit kann an 59 % der computertomographisch untersuchten Gliedmaßen ein Defekt der subchondralen Knochenplatte im Bereich des proximalen Hufbeins befundet werden. Korrespondierend dazu kann eine Zusammenhangstrennung in der subchondralen Knochenplatte der distalen Kronbeinepiphyse (z. B. Abbildung 12) an 2 % der Gliedmaßen befundet werden. Vorder- und Hintergliedmaßen sind zu annähernd gleichen Anteilen betroffen. Alle diese Defekte zeigen sich im Rahmen der Mazeration auch auf der gelenkbildenden Fläche des Hufbeins und/oder des distalen Kronbeins mit einer Kontinuitätsverletzung der entsprechenden Knorpeloberfläche sowie deutlicher Ver-/Rotfärbung und gummi- und/oder samtartigen Konsistenz der Knorpeloberfläche (z. B. Abbildung 15). Der subchondrale Knochen schließt sich direkt an den Gelenkknorpel an, er ist elastisch und verformbar und agiert als Stoßdämpfer, um den Gelenkknorpel vor mechanischer Schädigung zu schützen. Aufgrund des nicht kontinuierlichen osteochondralen Übergangs besitzt er nur eine geringe Stabilität (BURR 2004). Alle Gelenke zeigen eine Variation in der Dichte und Dicke der subchondralen Knochenplatte. Daraus resultieren variierende mechanische Eigenschaften der verschiedenen Lokalisationen (ECKSTEIN et al. 1996).

Im Röntgenbild kann man die subchondrale Knochenplatte durch eine dünne, röntgendichte Linie erkennen. Kleinste Gelenkdefekte können mittels der PR nicht identifiziert werden. Im Röntgenbild zeigen sich lediglich der Gelenkspalt, die beteiligten epiphysären Knochen sowie die Gelenkränder. Der röntgenologische Gelenkspalt wird durch die korrespondierenden Knorpel und den zwischen ihnen zu liegen kommenden Synovialfilm gebildet (UELTSCHI 1993). An den Gelenken sind röntgenologische Veränderungen erst in späten Stadien der OA sichtbar, am Gelenkknorpel sind dann makroskopisch schon deutliche Läsionen erkennbar. Die Schädigung des Gelenkknorpels in Form von Läsionen der Knorpeloberfläche beginnt bereits in frühen Stadien des Krankheitsgeschehens (ECKSTEIN 2001). KAWCAK et al. (2001 und 2011) bezeichnen die subchondrale Knochenplatte als integralen Bestandteil in der Pathogenese osteochondraler Defekte und der OA bei Pferd und Mensch. Im Rahmen der OA kommt es zum Knorpelabrieb, dementsprechend zu makroskopischen und mikroskopischen Veränderungen des Gelenkknorpels. Er verfärbt sich und zeigt mitunter eine samtartige Struktur sowie Usuren der Oberfläche. Im Zuge der Mazeration konnten diese Veränderungen an allen durch die CT-Untersuchung verdächtigen Gelenken verifiziert werden.

Gleichzeitig kommt es zu Verdickungen und Fibrose der Gelenkkapsel und Synovialmembran, beginnenden Knochenzubildungen an den Gelenkrändern sowie Strukturveränderungen wie Knochenzysten. Im Endstadium zeigen sich Ulzerationen der Knorpeloberfläche und die Spongiosa bzw. der subchondrale Knochen wird freigelegt (HAQ et al. 2003). Parallel kommt es im subchondralen Knochen zu Veränderungen. Der subchondrale Knochen hypertrophiert und die Knochenplatte verdickt und sklerosiert (HAYAMI et al. 2004). Veränderungen der Gelenkknorpel, die mit Lockerung ihrer Fasern einhergehen, führen zur Verdichtung des subchondralen Knochens (PLIESS 1974). Radiologisch wird dies als Sklerose bezeichnet (UELTSCHI 1993).

Die Sklerosierung im subchondralen Bereich konnte in dieser Arbeit computertomographisch in allen Fällen der Defekte der Knochenplatte dargestellt werden. Insbesondere die axialen

Schichten eignen sich zur Beurteilung der Dichteunterschiede. In der sagittalen Rekonstruktion hingegen lässt sich ein hyperdenser, schmaler Sklerosesaum um definierte hypodense Areale geringerer Dichte identifizieren (z. B. Abbildung 14). Allgemein ist die Knorpelschädigung irreparabel, die Regeneration nur sehr begrenzt. Die Degeneration des Gelenkknorpels führt folglich zu irreversibler Osteoarthrose (RADIN et al. 1995). POOL (1989) fand Defekte des Hufgelenkknorpels assoziiert mit Veränderungen im Rahmen der PT. Der Gelenkknorpel kann darüber hinaus aber auch ohne Beteiligung der subchondralen Knochenplatte Defekte aufweisen. Diese Veränderung kann in dieser Studie statistisch jedoch nicht belegt werden, da in dieser Arbeit nur subchondral veränderte Gelenke im Zuge der Mazeration eröffnet wurden. Der Umkehrschluss, ob ein Gelenkdefekt immer mit einer Beteiligung der subchondralen Knochenplatte einhergeht, kann daher nicht gefasst werden.

Röntgenologisch waren Veränderungen des subchondralen Knochens und der Gelenkfläche im Rahmen der Anfertigung der Röntgenaufnahmen gemäß dem RÖLF 2007 nicht detektierbar. Dies bestätigt die Aussage von UELTSCHI (1993), dass sich Gelenkalterationen mit der konventionellen Röntgenuntersuchung häufig nicht nachweisen lassen. Nur an einer Gliedmaße zeigte sich eine Strukturveränderung im Sinne einer großlumigen Hufbeinzyste mit Veränderung im subchondralen Gelenkflächenbereich. Sie konnte computertomographisch mittels der Sekundärrekonstruktion deutlich auf ihre Gelenkbeteiligung hin untersucht werden. Dies gelang vor allem durch die sagittale Rekonstruktion (Abbildung 17, Bild in der Mitte). In der CT-Untersuchung können zudem zystoide Defekte des Hufbeins mit einer Häufigkeit von 4 % diagnostiziert werden. In der Regel sind diese von einem Sklerosesaum umgeben. Eine Gelenkbeteiligung wurde bei jedem der zystoiden Defekte mittels der sagittalen Rekonstruktion nachgewiesen (z.B. Abbildung 14). Wichtig ist dies für die prognostische Einschätzung des Krankheitsgeschehens (AUER 2001).

Darüber hinaus konnten sich die Pferde durch einen computertomographisch detektierten Hufgelenksdefekt nicht in ihrer Röntgenklasse verschlechtern, da die Projektionsradiographie derart spezifizierte Gelenkdefekte nicht erfassen kann. Im RÖLF 2007 können Gelenkdefekte lediglich unter 1.11.3 (Strukturveränderung im subchondralen Gelenkflächenbereich) erfasst werden. Um derart nuancierte Defekte des Gelenkknorpels diagnostizieren zu können, reicht in der Regel auch keine Erweiterung zu den röntgenologischen Standardaufnahmen aus. Bei entsprechender Fragestellung im Rahmen der Lahmheitsuntersuchung können hier nur die Akquirierung eines Volumendatensatzes mittels mehrschichtigem Spiral-CT und die Rekonstruktion eines Defektes in drei Ebenen zielführend sein.

#### **5.4.2 Zubildungen**

An 5 % der Gliedmaßen können röntgenologisch Zubildungen im Hufgelenksbereich befundet werden. Der Processus extensorius ist davon ausgenommen.

Computertomographisch können diese Zubildungen als Befund der sogenannten Schale im Bereich des proximalen Hufgelenks und der distalen Kronbeinepiphyse ebenfalls an 5 % der Gliedmaßen beurteilt werden. Die röntgenologische Konturbefundung des Hufgelenksbereichs deckt sich in diesem Punkt mit der der computertomographischen Beurteilung. Im Vergleich zur Differenz der röntgenologischen und computertomographischen Konturbeurtei-

lung des Strahlbeins liegt dies an der röntgenologisch weniger starken Überlagerung knöcherner Strukturen im Hufgelenkbereich gegenüber der im Strahlbeinbereich.

Es zeigt sich also, je komplizierter die anatomischen Verhältnisse und komplexer ihr Aufbau, desto mehr Zusatzinformationen kann die CT-Untersuchung liefern. Die Arbeit von TIETJE (1997) bestätigt diese Aussage.

## **5.5 Veränderungen an den Hintergliedmaßen**

Allgemein zeigt sich an den Ergebnissen dieser Arbeit eine hohe Anzahl an veränderten Hufgelenken und Strahlbeinen der Hintergliedmaße.

In der Literatur ist wenig über Hufgelenk-/Strahlbeinveränderungen der Hintergliedmaße berichtet worden. Die Angaben beziehen sich vor allem auf die Vordergliedmaßen (DYSON 2008). STASHAK (1989) stellte fest, dass die Veränderungen im Sinne der Podotrochlose hauptsächlich die Strahlbeine der Vordergliedmaßen betreffen. Diese Angabe konnte mit der vorliegenden Arbeit widerlegt werden. Röntgenologisch wurden in Anlehnung an den RÖLF 2007 nur Oxspring-Aufnahmen der Vorderbeine angefertigt. Eine Aussage über röntgenologische Veränderungen an den Strahlbeinen der Hintergliedmaße kann daher nicht getroffen werden und nur mittels einer hypothetischen Durchführung und Diskussion der Veränderungen theoretisch beleuchtet werden.

Computertomographisch wurde jedoch eine Unterteilung in Vorder- und Hintergliedmaßen vorgenommen, um die Anzahl an veränderten Hufgelenken und Strahlbeinen der Hintergliedmaßen (Tabelle 15, Tabelle 16) zu demonstrieren. Die Strahlbeine der Hinterbeine sind unwesentlich weniger von Veränderungen betroffen als die Strahlbeine der Vorderbeine. Vier bis sieben Canales sesamoidales distalis wurden im Vergleich zu betroffenen Vorderbeinen ebenfalls an fast drei Vierteln der Hinterbeine diagnostiziert. Bei einer Anzahl von bis zu drei Kanälen wurden mehr betroffene Strahlbeine der Hintergliedmaße als der Vorderbeine registriert. Auch die Strahlbeinstruktur betreffend wurden einige Veränderungen ebenfalls vermehrt an den Strahlbeinen der Hintergliedmaße befundet. Hier handelt es sich vor allem um Veränderungen, die auch mittels der Oxspring-Aufnahme hätten diagnostiziert werden können. Eine grobmaschige Strahlbeinstruktur wurde zu annähernd gleichen Anteilen an Vorder- und Hinterbeinen diagnostiziert. Sklerotische Strahlbeine konnten im Vergleich zu den Vordergliedmaßen auch an gut drei Vierteln der Hintergliedmaßen dargestellt werden. Einbrüche auf der Sehnengleitfläche des Strahlbeins konnten zu gleichen Anteilen an den Vordergliedmaßen und Hintergliedmaßen befundet werden. Mehr als ein Einbruch an einem Strahlbein wurde allerdings an mehr Strahlbeinen der Vordergliedmaßen beurteilt. Konturveränderungen kamen deutlich weniger an den Strahlbeinen der Hintergliedmaßen vor. Im Hinblick auf den Vergleich der Wertigkeit der lateromedialen Aufnahme zur Oxspring-Aufnahme im Rahmen der verschiedenen Veränderungen kommt der Oxspring-Aufnahme der Hintergliedmaßen eine mindestens gleichwertige Bedeutung zu wie der lateromedialen Projektion.

Die Frage nach der klinischen Relevanz dieser Befunde muss an entsprechender Stelle erörtert werden und ist nicht Gegenstand dieser Arbeit. Weitere Studien, um den Nutzen der Oxspringaufnahme an den Hintergliedmaßen für den RÖLF zu prüfen, wären wünschenswert. Anhand dieser Arbeit kann nur auf die hohe Anzahl an veränderten Hufgelenken und Strahlbeinen der Hintergliedmaße hingewiesen werden und sie steht im Gegensatz zu den

stets nur an den Vordergliedmaßen angefertigten Oxspring-Aufnahmen im Rahmen des RöLF 2007.

## **5.6 Einteilung der Pferde in Röntgenklassen und Überprüfung der Zuordnung der Röntgenklassen des RÖLF 2007 nach der CT-Untersuchung**

Zu Beginn der Untersuchungen war zu erwarten, dass sich mittels der mehrzeiligen Spiral-CT im Vergleich zur Projektionsradiographie eine deutliche Steigerung des Informationsgehalts und damit auch eine Veränderung der Klassifizierung der Pferde ergeben würden. Es würde bedeuten, dass eine mögliche bzw. hypothetische Erweiterung der Standardaufnahmen um spezielle Aufnahmetechniken, wie für den Strahlbeinbereich die 55°-palmaroproximo-palmarodistal (tangential) gerichtete Projektion (UELTSCHI 2002) das diagnostische Potential signifikant verbessern und sich somit eine Veränderung der Klassifizierung der Pferde gemäß RÖLF 07 ergeben würde. Ausgang dieser These ist, dass sich die Befunde, die ein Äquivalent im RÖLF 2007 haben und im CT detektiert wurden, mittels hypothetisch angefertigter röntgenologischer Zusatzaufnahmen ebenfalls diagnostizieren ließen. Sowohl in der röntgenologischen Gesamtbeurteilung (41,18 %) als auch in der gesonderten röntgenologischen Betrachtung des HG/SB (37,25 %) lässt sich ein Großteil der Pferde in die RÖKL. III-IV einteilen. Da es sich um Schlachtpferde mit einem Durchschnittsalter von 15 Jahren handelt, erscheint dieser Prozentsatz nicht überraschend hoch. Im Vergleich zu einer radiologischen Verlaufsuntersuchung von ERDMANN (2008) an den Strahlbeinen der Vorderextremitäten von selektierten Auktionsanwärtern, die in der Erstuntersuchung 23,57 % der untersuchten Pferde in die Röntgenklasse III-IV und in der Nachuntersuchung 34 % der Pferde dahingehend klassifizierte, erscheint dieser Prozentsatz im Hinblick auf die verschiedenen Selektionskriterien der Arbeiten vergleichsweise niedrig. Eine deutliche Verschlechterung nach der CT-Untersuchung in der Gesamtklassifizierung im Sinne des RÖLF 2007 ist daher nicht zu erwarten gewesen. BAUMANN (2009) vergleicht empirisch Einzelergebnisse röntgenologischer Befunde an 132 Pferden mit Schmerzen im distalen Zehenbereich mit verschiedenen Referenzstudien an gesunden Pferden, um Klarheit über lahmheitsverursachende Röntgenbefunde in diesem Bereich zu erlangen. Von den Einzelbefunden ihrer Arbeit sind die „höchstklassifizierten“ Röntgenbefunde zu differenzieren, die die Röntgenklasse der Zehe distal bestimmen. Sie werden mit den Ergebnissen dieser Arbeit verglichen. Mit dem höchsten Anteil von lahmen Pferden wurde in ihrer Arbeit mit 62,88 % die RÖKL. III-IV belegt. Nur jeweils ein Pferd ließ sich in die RÖKL. I-II und RÖKL. II einteilen. Die RÖKL. I wurde nicht vergeben.

In die Röntgenklasse I, I-II und II ließ sich in der vorliegenden Untersuchung kein Pferd einteilen. Analog dazu wurden in der Studie von ERDMANN (2008) in der Voruntersuchung 7,86 % der Pferde mit der RÖKL. I (Verlaufsuntersuchung: 4,35 %) sowie immerhin 29,29 % in Klasse I-II (Verlaufsuntersuchung: 21,74 %) und 1,43 % in Klasse II (Verlaufsuntersuchung: 2,1 %) bewertet. Diese Ergebnisse entsprechen eher dem Vergleich zwischen selektierten Auktionspferden und den Schlachtpferden der vorliegenden Arbeit sowie Pferden mit Schmerzen im distalen Zehenbereich. In der vorliegenden Arbeit wurden 15,69 % der Pferde nach der röntgenologischen Untersuchung mit der RÖKL. II-III und III bewertet. Im HG/SB sind dies 21,57 % und 13,73 %. Nach BAUMANN (2009) wurden mit der RÖKL. II-III 15,91 % und mit Klasse III 11,36 % der Pferde klassifiziert. In der Arbeit von ERDMANN wurden



28,57 % der Pferde mit RöKl. II-III (Verlaufsuntersuchung: 38,40 %) und 9,29 % in die RöKl. III (Verlaufsuntersuchung: 7,97 %) qualifiziert. In der Verlaufsstudie von ERDMANN (2008) konnte in der Voruntersuchung kein und in der Nachuntersuchung nur ein Pferd mit der Klasse IV bewertet werden. BAUMANN (2009) referierte über 8,33 % der in Klasse IV beurteilten, lahmen Pferde.

Insbesondere bei dem in dieser Arbeit immerhin zweithöchsten Prozentsatz in der Gesamtbewertung klassifizierter Pferde pro Röntgenklasse mit 27,45 % und in der gesonderten Beurteilung des HG/SB mit 19,61 % in RöKl. IV wird deutlich, dass eine Verschlechterung nach der CT-Untersuchung in Anlehnung an den RÖLF 2007 nicht möglich ist. Ungeachtet dessen bleiben die computertomographischen Veränderungen, die die Projektionsradiographie entweder nicht detektieren kann (Tabelle 25, Tabelle 26) oder jene, die nur mit zusätzlichen Projektionen zu detektieren gewesen wären. Im HG/SB wurden im Vergleich zur röntgenologischen Untersuchung nach der CT-Untersuchung doppelt so viele Pferde in RöKl. IV eingeteilt (

Tabelle 17, Tabelle 18). Hierbei handelt es sich vor allem um die Befunde der zystoiden Defekte oder Einbrüche der Sehnengleitfläche des Strahlbeins.

Mit der Erweiterung der Standardaufnahmen um die tangential Aufnahme-technik des Strahlbeins können zystoide Defekte visualisiert werden. Zumindest sicher die, die mit einer Kontinuitätsverletzung der Sehnengleitfläche einhergehen (HERTSCH und HÖPPNER 1999, UELTSCHI 1983). Die Differenzierung eines Einbruchs der Sehnengleitfläche und eines zystoiden Defektes ist zudem nur mittels der tangentialen Aufnahme-technik möglich (HERTSCH et. al. 1997, UELTSCHI 2002). In früheren Arbeiten waren jedoch zystoide Defekte und Einbrüche der Sehnengleitfläche des Strahlbeins röntgenologisch nur unzureichend oder gar nicht röntgenologisch zu diagnostizieren und wurden demnach erst in der Sektion erkannt (HERTSCH 1982). DYSON (2008) konstatierte, dass zystoide Defekte auf Röntgenaufnahmen oft lediglich nur vermutet werden können, mittels der CT-Untersuchung können sie verifiziert und ihr Ausmaß konkretisiert werden (DEL CHICA 2008, DYSON 2008). Verschiedene Kritiker erachten die Strahlbeintangentialaufnahme als unverzichtbaren Bestandteil in der Ankaufsuntersuchung und Diagnostik des Strahlbeins (BUTLER 2000, DYSON 2008). Nur mittels aller drei Projektionen ist eine adäquate Beurteilung des Strahlbeins möglich, eine Untersuchung mit weniger als drei Aufnahmeebenen ist unvollständig und sollte nicht akzeptiert werden (UELTSCHI 2002). LAUK (2002) bezeichnet die Standardprojektionen als Minimalstandard und als Kompromiss. Der finanzielle Mehraufwand durch Erweiterung der Standardprojektionen muss im Verhältnis zum gewonnenen Informationsgehalt zu rechtfertigen sein. TELHELM (1984) sprach sich gegen die Etablierung der Tangentialaufnahme als Standard der röntgenologischen Routinediagnostik des Strahlbeins aus. Seines Erachtens würden die Befunde der dorsopalmar Aufnahme-technik lediglich bestätigt werden und sich die Gesamtbeurteilung dadurch nicht verändern. Zudem ist die Anfertigung der Aufnahme mit größerem Aufwand verbunden. Der gewonnene Informationsgehalt rechtfertigt nicht den entsprechenden Mehraufwand.

15,69 % der untersuchten Pferde verschlechterten sich nach der CT-Untersuchung in der Gesamtbeurteilung um nur eine halbe Röntgenklasse, während sich in der gesonderten Untersuchung des HG/SB 13,73% der Pferde um nur eine halbe Röntgenklasse verschlechterten. Dies sind vor allem die Pferde, die nach der röntgenologischen Untersuchung in eine Zwischenklasse klassifiziert wurden und nach der CT-Untersuchung der jeweils schlechteren Röntgenklasse zugeordnet wurden. In der Betrachtung des HG/SB dominieren die Zwi-

schenklassen II-III und III-IV. Dies spiegelt die Befundklassen des RÖLF 2007 bezüglich des Strahlbeinbereiches wider. Nur 10 von 24 auf der Oxspring-Aufnahme beurteilbaren Befunden sind mit einer Hauptklasse zu bewerten. 14 Befunde stellen Zwischenklassenbewertungen dar und gibt damit die möglichen Differenzen zwischen verschiedenen Untersuchern sowie die Schwierigkeit und Subjektivität in der Beurteilung der gegenwärtigen Beurteilungsschemata wider.

Auch in der Gesamtbewertung verdeutlicht der Prozentsatz der nach der CT-Untersuchung in RöKl. III-IV klassifizierten Pferde den höchsten Anteil an Zwischenklassenbewertungen (41,18%). Der RÖLF 2007 lässt dem Untersucher mit der Möglichkeit der Bewertung von Zwischenklassen einen Spielraum offen, der eine definierte Festlegung eines Befundes oder Pferdes in eine konkrete Röntgenklasse nicht vorsieht. Sollten sich die Befunde der entsprechenden Zwischenklasse zukünftig in die eine oder andere Richtung entwickeln, kann der Tierarzt forensisch zudem nicht belangt werden (STADLER 2005). Dies erklärt wiederum die Tatsache, warum viele Befunde des RÖLF 2007 in eine Zwischenklasse subsummiert werden. Das von HERTSCH (2003) publizierte Vorwort zum Röntgenleitfaden greift den Umstand auf, dass die Röntgenaufnahmen als Dokumente häufig von mehreren Kollegen interpretiert und beurteilt werden. Es bleibt daher nicht aus, dass dabei unterschiedliche Interpretationen verbalisiert werden, welche damit die Basis gerichtlich ausgetragener Streitigkeiten bieten. Die Definition von Zwischenklassen trägt diesem Punkt Rechnung und ermöglicht eine Balance zwischen den differierenden Meinungen verschiedener Untersucher.

In der Gesamtbeurteilung eines Pferdes veränderten sich rund 50% der Pferde in Röntgenklasse II-III nicht. Bei der Röntgenklasse III-IV sind dies immerhin 71%. In der Untersuchung des HG/SB veränderte sich die Zwischenklasse II-III zu 63,64% nicht. Für die Röntgenklasse III-IV waren es 68,42%. Zu bemerken ist, dass sich die Pferde mit einer zugeordneten Zwischenklasse nach der CT-Untersuchung nicht nur in die jeweils höhere Klasse verschlechtern, sondern in der Regel um eine oder eineinhalb Klassen schlechter klassifiziert werden. Es wurde demnach also ein durch die CT-Untersuchung zusätzlich radiologischer Befund aufgedeckt, welcher einer deutlich schlechteren Röntgenklasse obliegt. Aufgrund der in den einzelnen Röntgenklassen geringen Anzahl an untersuchten Pferden und zu erhebenden Einzelbefunden, kann eine allgemeingültige Aussage daraus nur bedingt abgeleitet werden. Darüber hinaus besteht keine Information über die klinische Verfassung sowie keine Information über die Beschaffenheitsvereinbarung des entsprechenden Pferdes zum Untersuchungszeitpunkt.

Durch die Ergebnisse der CT-Untersuchung veränderte sich ein Großteil der in die jeweilige Röntgenklasse klassifizierten Pferde nicht. Ungeachtet der Tatsache, dass schon nach der röntgenologischen Untersuchung ohnehin 37,25 % bzw. 19,61 % der Pferde im HG/SB der RöKl. III-IV bzw. IV zugeordnet wurden sowie in der Gesamtbeurteilung 41,18 % der RöKl. III-IV bzw. 27,45 % der RöKl. IV. Es wurden bereits Anmerkungen zur Auswahl des Untersuchungsmaterials getätigt. Des Weiteren kann die RöKl. I-II mangels der in dieser Klasse integrierten Pferde nicht überprüft werden. Durch die geringe Anzahl von Pferden, die mit der RöKl. I und II bewertet wurden, kann eine Aussage ebenfalls nicht getätigt werden. In dieser Hinsicht wären weitere Untersuchungen mit einem insgesamt besser qualifizierten Pferdmaterial im wissenschaftlichen Interesse ebenfalls wünschenswert.

Betrachtet man die gesamte distale Gliedmaße, so verändert sich bei zwei Dritteln der Pferde (66,67 %) die Klassifizierung nach der CT-Untersuchung nicht. In der gesonderten Betrachtung des Hufgelenk-/Strahlbeinbereiches sind dies immerhin fast drei Viertel (74,51%). Betrachtet man den HG/SB so verändern sich 63,64 % der in RöKl. II-II klassifizierten Pferde auch nach der CT-Untersuchung nicht. Bei den Pferden der RöKl. III-IV sind es sogar 68,42 %. Bei den Pferden der RöKl. III kann bei 71,43 % keine Verschlechterung der Klasse festgestellt werden. In zwei Fällen (3,92 %) des gesamten distalen Gliedmaßenbereichs konnte sogar eine Verbesserung der Röntgenklasse nach der CT-Untersuchung erzielt werden. Hierbei handelte es sich allerdings um Befunde im Fesselgelenkbereich (JONES 2016).

Eine Verschlechterung der Gesamt-RöKl. wurde bei nicht einmal einem Drittel der Pferde (29,41 %) nachgewiesen, im HG/SB sind es nur 25,49 %.

Entgegen der Erwartung, dass sich durch den gesteigerten Informationsgehalt der CT-Untersuchung die Pferde nach der CT-Untersuchung in ihrer Röntgenklasse deutlich verschlechtern würden, blieben 66,67% der Pferde ohne Veränderung der Röntgenklasse in Bezug auf die Gesamtbeurteilung der distalen Gliedmaße. Auch in der gesonderten Befundung des HG/SB beträgt der Anteil unveränderter Pferde nach der CT-Untersuchung 74,51%. Summiert man den Anteil unveränderter Pferde (66,67 % in der Gesamtbeurteilung, 74,51 % im HG/SB) und den Anteil von Pferden, die sich nur um eine halbe Röntgenklasse verschlechtern (15,69% in der Gesamtbeurteilung, 13,73 % in der HG/SB-Befundung), wird noch deutlicher akzentuiert, dass ein Großteil der Befunde des HG/SB mittels der Übersichts- sowie der Oxspringaufnahme detektiert werden kann (82,36 % gesamte Gliedmaße; 88,24 % HG/SB).

Der Einfluss einer hypothetisch zusätzlich angefertigten Strahlbeintangentialaufnahme an den Vorderextremitäten hat hingegen der Erwartungen keinen wesentlichen Einfluss auf das Gesamtergebnis. In der Betrachtung der gesamten Gliedmaße verändern 72,55% der Pferde sich nicht in ihrer Röntgenklasse. In der gesonderten Betrachtung des HG/SB sind es 80,39%. Summiert man die Pferde, die sich nur um eine halbe Klasse verschlechtern dazu, verändern sich 84,31% (gesamte Gliedmaße) bzw. 90,19% (HG/SB) der Pferde nicht in ihrer Klassifizierung. Das heißt, dass sich mit Erweiterung um die Strahlbeintangentialaufnahme eine Steigerung in der Anzahl unveränderter Pferde und Pferde, die sich nur um eine halbe Klasse verschlechtern, von jeweils 1,95% ergeben. Geschuldet ist dies natürlich auch der geringen Anzahl von betroffenen Vorderextremitäten im Vergleich zu den Hinterextremitäten, welche in der hypothetischen Anfertigung einer Oxspringaufnahme an den Hintergliedmaßen erfasst werden. Im Rahmen der röntgenologischen Darstellungsmöglichkeit reichen die lateromediale Aufnahme der Zehe und die dorsopalmare Aufnahme nach Oxspring daher prinzipiell aus, um die im Röntgenleitfaden 2007 entsprechenden Veränderungen im Bereich des Hufgelenkes und des Strahlbeines zu detektieren. Eine Strahlbeintangentialaufnahme obligatorisch in den Standard zu integrieren, steht nach den Ergebnissen dieser Arbeit nicht im Verhältnis von Steigerung des Informationsgehaltes zu finanziellem und technischem Mehraufwand sowie zusätzlicher Strahlenbelastung des Untersuchers.

Durch eine hypothetisch zusätzlich angefertigte Oxspringaufnahme an den Hinterbeinen verändern sich 76,47% der Pferde (gesamte Gliedmaße) bzw. 84,31% (HG/SB) nicht in ihrer Röntgenklasse. Summiert man die Pferde dazu, die sich nur um eine halbe Klasse verschlechtern, sind es 82,35% (gesamte Gliedmaße) bzw. 92,15%. Das bedeutet, dass durch

die Erweiterung des Standards um eine Oxspringaufnahme an den Hintergliedmaßen sich die Gesamtbeurteilung des Pferdes nicht verändert, in der speziellen Klassifizierung des HG/SB ergibt sich dadurch eine Steigerung von 3,91%. Als Einzelergebnis ist auch hier kein wesentlicher Einfluß ersichtlich.

## 6 Zusammenfassung

Bettina Doering

### **Vergleichende Darstellung röntgenologischer Befunde am Strahlbein und Hufgelenk des Pferdes gemäß dem Röntgenleitfaden 2007 und computertomographischen Befunden**

Eingereicht im April 2015

Chirurgische Tierklinik der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

134 Seiten, 51 Abbildungen, 34 Tabellen, 334 Literaturangaben, 1 Anhang

Schlüsselwörter: Röntgenleitfaden, Pferd, Spiral-Computertomographie, Hufgelenk, Strahlbein

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der röntgenologischen und computertomographischen Untersuchung an der distalen Gliedmaße des Pferdes.

Ziel der Arbeit ist es, die in Kaufuntersuchungen verwendeten röntgenologischen Standardaufnahmen des RÖLF 2007 im Hinblick auf ihre Darstellbarkeit von Veränderungen im Hufgelenk- und Strahlbeinbereich und die folgende Klassifizierung der Pferde in Röntgenklassen gemäß dem RÖLF 2007 zu überprüfen.

#### **Material und Methoden**

Das Untersuchungsmaterial setzte sich aus 100 distalen Gliedmaßenpaaren 51 getöteter Warmblutpferde aus einem niedersächsischen Schlachthof im Bremer Raum zusammen. Es wurden die Hufgelenke und Strahlbeine von 102 Vorder- und 98 Hinterextremitäten röntgenologisch und computertomographisch untersucht. Anschließend wurden die erhobenen Befunde makroskopisch anhand von Frisch- und Knochenpräparaten überprüft.

Die Pferde wurden mittels der Befunde der lateromedialen Übersichtsaufnahme der Zehe und der 0°-Aufnahme („Oxspingaufnahme“) des Strahlbeins gemäß dem RÖLF 2007 in Röntgenklassen eingeteilt. Nach der anschließenden computertomographischen Untersuchung erfolgte eine erneute, korrigierte Einteilung in die entsprechende Röntgenklasse in Anlehnung an den RÖLF 2007. Computertomographische Befunde, für die kein entsprechendes Äquivalent im RÖLF 2007 zu finden war, wurden gesondert hervorgehoben. In einer weiteren Auswertung wurde der Einfluss einer hypothetischen Erweiterung des Röntgenstandards um Zusatzprojektionen wie eine Strahlbeintangentialaufnahme an den Vorderbeinen und die Oxspringaufnahme an den Hinterbeinen auf die Gesamtbeurteilung eines Pferdes untersucht. Mit den Sekundärrekonstruktionen der Spiral-CT sollten die Befunde dargestellt werden, die durch die röntgenologischen Zusatzprojektionen hypothetisch hätten detektiert werden können. Im Anschluss wurden die bildgebenden Befunde durch eine Präparation und

Mazeration der veränderten Gliedmaßen letztlich in Beziehung zu den pathomorphologischen Veränderungen im Hufgelenk- und Strahlbeinbereich gesetzt und überprüft.

Die Röntgenuntersuchung erfolgte nach den einzelnen Kriterien der lateromedialen Übersichtsaufnahme der Zehe und der 0°-Aufnahme des Strahlbeins gemäß dem RÖLF 2007. Zum Einsatz kam das mobile DR-System „Scope X“ der Gierth international GmbH sowie eine dicomPACS® vet gestützte Dokumentations- und Befundungssoftware.

Die Akquirierung der CT-Datensätze erfolgte anhand eines Toshiba Aquilon 16-zeiligen Spiral-CT der 3. Generation mit einer stationären Gantry der TOMOVET® GmbH und einer integrierten VITREA®-Workstation zur Erstellung multiplanarer Reformatierungen (MPRs).

### **Ergebnisse**

Es stellte sich heraus, dass sich die Röntgenklasse bei 82,36 % der untersuchten Pferde nach der computertomographischen Untersuchung nicht oder nur um eine halbe Röntgenklasse veränderte, wenn die gesamte distale Gliedmaße betrachtet wurde. In der gesonderten Betrachtung des Hufgelenk- und Strahlbeinbereichs waren dies sogar 88,24 %.

Dies zeigt, dass durch die Darstellbarkeit von Veränderungen im Hufgelenk-/Strahlbeinbereich mittels der röntgenologischen Standardaufnahmen eine relativ sichere und korrekte Zuordnung der Pferde in die entsprechende Röntgenklasse ermöglicht wird.

Eine hypothetisch zusätzlich angefertigte Strahlbeintangentialaufnahme an den Vordergliedmaßen sowie eine Oxspringaufnahme an den Hintergliedmaßen haben entgegen der Erwartungen keinen wesentlichen Einfluss auf die Gesamtklassifizierung der einzelnen Pferde.

### **Schlussfolgerung**

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass ein Großteil der Befunde im HG/SB mittels der lateromedialen Übersichtsaufnahme und der 0°-Aufnahme des Strahlbeins gemäß dem RÖLF 2007 dargestellt werden können. Der zusätzlich erreichte Informationsgehalt durch eine reguläre Erweiterung der Standardaufnahmen um eine Strahlbeintangentialaufnahme an den Vordergliedmaßen sowie eine Oxspringaufnahme an den Hintergliedmaßen rechtfertigt nicht den technischen und finanziellen Mehraufwand und die zusätzliche Strahlenbelastung des Untersuchers sowie der an der Untersuchung beteiligten Personen.

Bei zweifelhaften Befunden ist eine Erweiterung des Standards um entsprechende Zusatzaufnahmen aber natürlich weiterhin obligat. Im wissenschaftlichen Interesse wären weitere Untersuchungen mit einem röntgenologisch insgesamt besser klassifizierten Pferdmaterial und Informationen über die klinische Verfassung sowie die Beschaffenheitsvereinbarung des untersuchten Pferdes zum Untersuchungszeitpunkt wünschenswert.

## 7 Summary

Bettina Doering

### **Comparative display of radiographic findings of the navicular bone and distal interphalangeal joint in the horse in accordance with 2007 German Radiography Guidelines and computed tomography findings**

Submitted in April 2015

Large Animal Clinic for Surgery at the Faculty for Veterinary Medicine of Leipzig University

134 pages, 51 figures, 34 tables, 334 literature references, 1 annex

Key words: radiography guidelines, horse, spiral computed tomography, distal interphalangeal joint, navicular bone

The present study investigates radiographic and computed tomography examination of the distal limb in the horse.

The aim of the study is to evaluate the standard radiographic views which are used in pre-purchase examinations to detect changes in the area of the distal interphalangeal joint and the navicular bone according to the 2007 German Radiography Guidelines (RöLF 2007) and to assess the acceptability of classification of horses into radiological classes according to the RöLF 2007.

#### **Material and methods**

100 distal limb pairs from 51 slaughtered warmblood horses from an abattoir near Bremen in Lower Saxony were examined. The distal interphalangeal joints and navicular bones of 102 front limbs and 98 hind limbs were examined radiographically and computertomographically. Subsequently, the collected results were controlled macroscopically with fresh- and bone-preparations.

On the basis of findings of the lateromedial view of the foot and the 0° view ("Oxspring view") of the navicular bone, horses were graded into radiological classes according to the RöLF 2007. After a subsequent computed tomography examination, classification on the basis of RöLF 2007 was repeated and possibly corrected. Computed tomography findings for which no corresponding equivalent could be found in the RöLF 2007 were noted separately. Furthermore, the impact of a hypothetical expansion of the radiological standard by additional projections such as an oblique (tangential) navicular view in the fore limb and an Oxspring view in the hind limb on the overall classification of the horse was evaluated. The secondary reconstructions of the spiral CT were intended to illustrate the findings which could hypothetically have been detected using the additional radiographic projections. Subsequently, preparation and maceration of the limbs was performed to verify findings from the imaging procedures and compare them with the pathomorphological changes in the area of the distal interphalangeal joint and the navicular bone.

Radiographic examination was carried out according to the specific criteria for the lateromedial overview of the foot and the 0° view of the navicular bone stated in the RÖLF 2007. Radiographs were obtained using the mobile digital x-ray system "Scope X" by Gierth International GmbH as well as dicomPACS® vet documentation and processing software.

CT data sets were acquired using a third generation Toshiba Aquilon 16-line spiral CT with a stationary gantry by TOMOVET® GmbH and an integrated VITREA® work station to generate multiplanar reformations (MPRs).

## **Results**

Upon assessment of the entire distal limb, 82.36 % of horses remained in the same radiographic class or varied by no more than half a class after computed tomography. For the separate assessment of the section of the distal interphalangeal joint and navicular bone they even amounted to 88.24 %. This shows that the standard views allow a relatively accurate and correct classification of horses into the respective radiological classes.

Contrary to expectations, an additional hypothetically included tangential view of the navicular bone view in the fore limb as well as an "oxspring" view in the hind limbs had no significant effect on the overall classification of horses.

## **Conclusion**

The results of the present study show that a majority of the findings in the interphalangeal joint and navicular bone can be validated through the lateromedial overview of the foot and the 0° view of the navicular bone according to the RÖLF 2007. The additional informative content through a regular extension of the standard views with the tangential navicular view of the fore limb and the "Oxpring view" of the hind limb does not justify the extra technical effort and expenses as well as the further radiation exposure of the examiner and other staff that is involved in the examination.

In case of ambiguous findings, an extension of the standard by the appropriate additional views is still obligatory. For scientific purposes, further examinations on horses with better overall radiological classifications and information about the clinical condition and the agreement on quality of the inspected horses at the examination date would be desirable.



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Graphik zu Tab. 17 .....	62
Abbildung 2: Graphische Darstellung der Tab. 18 .....	63
Abbildung 3: Pferd 68. Linkes Bild: 90°-Aufnahme der rechten Vordergliedmaße. Rechtes Bild: Oxspring-Aufnahme der rechten Vordergliedmaße .....	75
Abbildung 4: Pferd 68. Linkes Bild: axiale Rekonstruktion der isolierten Verschattung im Bereich des Hufgelenks. Rechtes Bild: axiale Rekonstruktion der korrespondierenden Veränderungen an der distalen Kronbeinepiphyse.....	76
Abbildung 5: Pferd 68, vr. Linkes Bild: Präparation des Hufgelenks mit deutlichen Alterationen des Gelenkknorpels im Bereich der Fovea articularis. Rechtes Bild: korrespondierende Verschleißerscheinungen des Gelenkknorpels der distalen Kronbeinepiphyse. ....	76
Abbildung 6: Pferd 68, hr. 90°-Aufnahme der rechten Hinterextremität.....	77
Abbildung 7: Pferd 68, hr. Areale hypodenser Struktur auf der axialen Rekonstruktion .....	77
Abbildung 8: Frischpräparat Pferd 68, hr. ....	78
Abbildung 9: Pferd 64, hr. Lateromediale Projektion der rechten Hintergliedmaße .....	78
Abbildung 10: Pferd 64, hr. Axiale MPR-Rekonstruktion des Übergangs subchondrale Knochenplatte/Gelenkknorpel des Hufgelenks .....	79
Abbildung 11: Pferd 64, hr. Präparation des Hufgelenks .....	79
Abbildung 12: Pferd 64, hr. Korrespondierende Verschleißerscheinungen im Bereich der Kronbeinwalze .....	80
Abbildung 13: Pferd 58, vl. Linkes Bild: lateromediale Projektion. Rechtes Bild: Aufnahme nach Oxspring.....	80
Abbildung 14: Pferd 58, vl. Sagittale Rekonstruktion .....	81
Abbildung 15: Frischpräparat Pferd 58, vl.....	81
Abbildung 16: Pferd 58, vr. Linkes Bild: 90°-Aufnahme. Rechtes Bild: Aufnahme nach Oxspring .....	82
Abbildung 17: Pferd 58, vr. Hufbeinzyste in den verschiedenen Rekonstruktionen.....	82
Abbildung 18: Pferd 58, vr. Linkes Bild: Mazeration. Rechtes Bild: Präparation des zystoiden Defektes im Hufbein.....	83
Abbildung 19: Pferd 43, vl. Linkes Bild: lateromedialen Projektion. Rechtes Bild: Oxspring- Aufnahme .....	83
Abbildung 20: Pferd 43, vl. Axiale (linkes Bild), sagittale (Bild in der Mitte) und coronare (rechtes Bild) Rekonstruktion .....	84
Abbildung 21: Pferd 43, vl. Aufsicht auf die Sehnengleitfläche des Strahlbeins .....	85
Abbildung 22: Pferd 22, vr. Linkes Bild: lateromediale Aufnahme. Rechtes Bild: Oxspring- Aufnahme .....	85
Abbildung 23: Linkes Bild: Axiale Rekonstruktion. Rechtes Bild: Sagittale Rekonstruktion ...	86
Abbildung 24: Linkes Bild: coronare Rekonstruktion mit disto-zentralem Defekt. Rechtes Bild: coronare Rekonstruktion mit isolierter Verschattung am latero-distalen Strahlbeinrand .....	86
Abbildung 25: 3D-Rekonstruktion .....	86

Abbildung 26: Pferd 22, vr. Linkes Bild: Facies flexoria mit zentralem Einbruch. Rechtes Bild: Aufsicht auf die Facies articularis .....	87
Abbildung 27: Pferd 40 vr. Linkes Bild: 90°-Projektion. Rechtes Bild: Oxspring-Aufnahme ...	87
Abbildung 28: Pferd 40, vr. Axialer Scan .....	88
Abbildung 29: Pferd 40, vr. Sagittale (linkes Bild) und coronare Rekonstruktion (rechtes Bild) des Strahlbeins .....	88
Abbildung 30: Pferd 40, vr. Photographische Dokumentation des Gleitflächendefektes (linkes Bild) und der Zubildungen (rechtes Bild) am proximalen Rand .....	89
Abbildung 31: Pferd 29, hl. 90°-Aufnahme .....	89
Abbildung 32: Pferd 29, hl. Axiale (links), sagittale (Mitte) und coronare Rekonstruktion (rechts) .....	90
Abbildung 33: Pferd 29, hl. 3D-Rekonstruktion des Strahlbeins und der isolierten Verschattung am .....	90
Abbildung 34: Pferd 29, hr. Lateromediale Projektion .....	91
Abbildung 35: Pferd 29, hr. Axiale (linkes Bild), sagittale (Bild in der Mitte) und coronare (rechtes Bild) Rekonstruktion .....	91
Abbildung 36: Pferd 29, hr. 3D-Rekonstruktionen der isolierten Verschattung am Margo distalis des Strahlbeins .....	92
Abbildung 37: Pferd 29, hr. Photographische Dokumentation des Strahlbeins .....	92
Abbildung 38: Pferd 32, vl. Links: lateromediale Projektion des Strahlbeins. Rechts: Oxspring-Aufnahme .....	93
Abbildung 39: Pferd 32, vl. Axiale (links), sagittale (Mitte) und coronare (rechts) Rekonstruktion .....	93
Abbildung 40: Pferd 32, vr. 3D-Rekonstruktion des Strahlbeinbereichs .....	94
Abbildung 41: Pferd 32, vr. Linkes Bild: 90°-Aufnahme. Rechtes Bild: Oxspring-Aufnahme ..	94
Abbildung 42: Pferd 32, vr. Rekonstruktion der isolierten Verschattung am distalen Strahlbeinrand in allen drei Ebenen .....	95
Abbildung 43: Pferd 32, vr. Knochenpräparat des Strahlbeins .....	95
Abbildung 44: Pferd 15 vl und vr. Lateromediale Projektion der linken (linkes Bild) und rechten (rechtes Bild) Extremität .....	96
Abbildung 45: Pferd 15, vl und vr. Oxspring-Aufnahme .....	96
Abbildung 46: Pferd 15, vl. Rekonstruktion in der axialen (Bild links), sagittalen (Bild Mitte) und coronaren Ebene (Bild rechts) .....	97
Abbildung 47: Pferd 15, vl. 3D-Rekonstruktion .....	97
Abbildung 48: Pferd 40, vl. 0°-Aufnahme .....	98
Abbildung 49: Pferd 40, vl. Axiale Rekonstruktion im Knochenfenster (linkes Bild) und Weichteilfenster (rechtes Bild) .....	98
Abbildung 50: Pferd 40, vl. Sagittale Rekonstruktion im Knochenfenster (linkes Bild) und Weichteilfenster (rechtes Bild) .....	99
Abbildung 51: Pferd 40, vl. Links coronare Rekonstruktion im Knochenfenster und rechts im Weichteilfenster .....	99

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Röntgenklasseneinteilung gemäß dem RöLF 2007 .....	25
Tabelle 2: Tabelle aus Stashaks Adams' Lahmheiten bei Pferden, Schaper 2008.....	32
Tabelle 3: Verteilung des Pferdmaterials .....	45
Tabelle 4: Daten des klinikeigenen Pferdmaterials .....	45
Tabelle 5: Befundungsschlüssel für röntgenologische Veränderungen am Hufgelenk. 90°- Aufnahme (RöLF 2007).....	49
Tabelle 6: Befundungsschlüssel für röntgenologische Veränderungen am Processus extensorius. 90°-Aufnahme (RöLF 2007). .....	49
Tabelle 7: Befundungsschlüssel für röntgenologische Veränderungen am Strahlbein. 90°- Aufnahme (RöLF 2007).....	49
Tabelle 8: Befundungsschlüssel für röntgenologische Veränderungen am Strahlbein. Oxspring-Aufnahme 0° (RöLF 2007).....	50
Tabelle 9: CT-Befundungsbogen für den Hufgelenkbereich .....	51
Tabelle 10: CT-Befundungsbogen für den Strahlbereich .....	52
Tabelle 11: Häufigkeitsverteilung der Einzelbefunde im Hufgelenkbereich im lateromedialen Strahlengang .....	54
Tabelle 12: Häufigkeitsverteilung der Einzelbefunde am Processus extensorius im lateromedialen Strahlengang .....	55
Tabelle 13: Häufigkeitsverteilung der Einzelbefunde des Strahlbeins im lateromedialen Strahlengang .....	56
Tabelle 14: Häufigkeitsverteilung der Einzelbefunde im Strahlbeinbereich im dorsopalmaren Strahlengang .....	57
Tabelle 15: CT-Befundungsbogen für Befunde im Hufgelenk-/Hufbeinbereich und Verteilung der Einzelbefunde .....	59
Tabelle 16: Befundungsbogen für CT-Befunde im Strahlbeinbereich und Verteilung der Einzelbefunde .....	60
Tabelle 17: Verteilung der Gesamtröntgenklassen nach der röntgenologischen Untersuchung .....	62
Tabelle 18: Veränderung der Verteilung der Röntgenklassen nach der computertomographischen Auswertung .....	63
Tabelle 19: Verteilung der Veränderungen der Klassifizierung nach der computertomographischen Untersuchung .....	64
Tabelle 20: Verschlechterung der einzelnen Röntgenklassen.....	65
Tabelle 21: Anzahl der jeweiligen Klassenveränderungen pro Gesamt-Röntgenklasse .....	65
Tabelle 22: Anzahl der jeweiligen Klassenveränderungen pro Röntgenklasse des HG/SB...66	
Tabelle 23: Anzahl der Pferde pro veränderte Röntgenklasse im Vergleich zu den Anteilen unveränderter Pferde .....	67
Tabelle 24: Vergleich der Prävalenz röntgenologischer Befunde am Hufgelenk und Strahlbein gemäß RöLF 2007 und entsprechenden CT-Befunden .....	68
Tabelle 25: Vergleich der Prävalenz röntgenologischer und computertomographischer Befunde am Hufgelenk ohne entsprechendes Äquivalent im RöLF 2007 in Ergänzung zu Tabelle 24 .....	69
Tabelle 26: Vergleich der Prävalenz röntgenologischer und computertomographischer Befunde am Strahlbein ohne entsprechendes Äquivalent im RöLF 2007 in Ergänzung zu Tabelle 24 .....	69
Tabelle 27: Verteilung der Gesamtröntgenklassen nach der röntgenologischen Untersuchung und Erweiterung um die Strahlbeintangentialaufnahme .....	71
Tabelle 28: Veränderung der Röntgenklassen nach der computertomographischen Auswertung und zuvor Erweiterung der Röntgenuntersuchung um die Strahlbeintangentialaufnahme.....	71

Tabelle 29: Verteilung der Veränderungen der Klassifizierung nach der computertomographischen Untersuchung nach Erweiterung durch die Strahlbeintangentialaufnahme.....	71
Tabelle 30: Verteilung der Gesamtröntgenklassen nach der röntgenologischen Untersuchung und Erweiterung um die Oxspringaufnahme an den Hinterbeinen.....	72
Tabelle 31: Veränderung der Röntgenklassen nach der computertomographischen Auswertung und zuvor Erweiterung der Röntgenuntersuchung um die Oxspringaufnahme an den Hinterbeinen.....	72
Tabelle 32: Verteilung der Veränderungen der Klassifizierung nach der computertomographischen Untersuchung nach Erweiterung durch die Oxspringaufnahme an den Hinterbeinen.....	73
Tabelle 33: Veränderung der Zwischenklassenbewertungen der gesamten Gliedmaße nach der CT-Untersuchung.....	73
Tabelle 34: Veränderung der Zwischenklassenbewertungen des HG/SB nach der CT-Untersuchung .....	73

## 8 Literaturverzeichnis

Ackermann N, Johnson J, Dorn CR. Navicular disease in the horse: risk factors, radiographic changes and response to therapy. J Am Vet Med Ass. 1977;170:183-187.

Adams OR. Lahmheit bei Pferden. 3. Aufl. Hannover: Verlag Shaper; 1980.

Arnan P. Röntgenologische Reihenuntersuchung zur Osteochondrosis an Fessel-, Sprung- und Kniegelenken bei Zweijährigen Warmblutpferden– eine Verlaufskontrolle. [Dissertation med.vet]. Berlin: Freie Univ. Berlin, 2005.

Arnan P, Hertsch B. OCD des Fessel- Sprung- und Kniegelenks im Vergleich vom Fohlen zum Zweijährigen. Pferdeheilkunde. 2005;21(4):322-326.

Auer JA, von Rechenberg B, Fürst A, Geissbühler U. Subchondrale Knochenzysten: ein Beitrag zur Ätiologie und Behandlung. Tierärztl Prax. 2001;29:185-193.

[www.avma.org](http://www.avma.org)

Barbee DD und Allen JR. Computed tomography in the horse: general principles and clinical applications. Proc Am Assoc Equine Pract. 1986;32:483-493.

Barbee DD, Allen JR Gavin PR. Computed tomography in horses: technique. Vet Radiol. 1987;28:144-151.

Barbee DD, Allen JR. Computed tomography and gamma szintigraphy. In: White, H. E., Moore, S. Hrsg. Current practice of equine surgery. Philadelphia: JB Lippincott Co; 1990. p. 43-50.

Barbee DD. Computed tomography (CT): a dip into the future. Equine Vet J. 1996;28(2):92.

Baxter GM. Subchondral cystic lesions in horses. In: McIlwraith CW, Trotter GW, Saunders WB, Hrsg. Joint Disease in the Horse. Philadelphia. p. 384-397.

Beccati F, Pepe M, Gialetti R, Pucetti M, Tamantini C, Nannarone S. Development of first phalanx osseous cyst-like lesion after fracture repair: two cases. 3<sup>rd</sup> World Veterinary Orthopaedic Congress, 15<sup>rd</sup> European Society of Veterinary Orthopaedics and Traumatology Congress; 2010 Sep 15-18; Bologna, Italy. p. 538-539.

Beerhues U. Randexostosen an den Gelenkflächen des Huf-und Krongelenks beim Pferd- Vorkommen, röntgenologische Darstellung, und Bedeutung für den Wendeschmerz. [Dissertation med.vet]. Hannover: Tierärztl. Hochschule; 1987.

Bellinghausen W. Pferdekrankheiten. Stuttgart: Ulmer (Eugen) Verlag, 1996.

Bemmann U. Zweckbestimmung und Haftungssummenbeschränkung. *Pferdespiegel* 2008;(1)36–37.

Berry CR, Pool RR, Stover S, O’Brien TR, Koblik PD. Radiographic/morphologic investigation of a radiolucent crescent within the flexor central eminence of the navicular bone in Thoroughbreds. *Am J Vet Res.* 1992;53:1604-1611.

Biggi M, Dyson S. Comparison between radiological and magnetic resonance imaging lesions in the distal border of the navicular bone with particular reference to distal border fragments and osseous cyst-like lesions. *Equine Vet J.* 2010;42(8):702-712.

Bigi M, Dyson SJ. High field magnetic resonance imaging investigation of distal border fragments of the navicular bone in horses with foot pain. *Equine Vet J.* 2011;43(3)302-308.

Bindeus T, Vrba S, Gabler C, Rand T, Stanek C. Comparison of computed radiography and conventional film-screen radiography of the equine stifle. *Vet Radiol Ultrasound.* 2002;43:455-460.

Blunden A, Dyson S, Murray M, Schramme M. Histopathology in horses with chronic palmar foot pain and age-matched controls. Part 2: The deep digital flexor tendon. *Eq Vet J.* 2006;38(1):23-27.

Bodenmüller J. Der Wert von Röntgenaufnahmen für die Früherkennung von Podotrochlose (Strahlbeinlahmheit) bei der Ankaufsuntersuchung von Pferden [Dissertation med. vet]. Zürich: Univ. Veterinärmed. Fak.; 1983.

Böttcher P, Maierl J, Schiemann T, et al. The visible animal project: a three-dimensional, digital database for high quality three-dimensional reconstructions. *Vet Radiol Ultrasound.* 1999;40:611-616.

Bowker RM, Linder K, Van Wulfen KK, Sonea IM. Anatomy of the distal interphalangeal joint of the mature horse: relationships with navicular suspensory ligaments, sensory nerves and neurovascular bundle. *Equine Vet J.* 1997;29(2):126-135.

Branscheidt WJ. Untersuchungen an der Hufrolle bei Pferden mit und ohne Hufrollenerkrankung (Podotrochlose) [Dissertation med. vet]. Stuttgart: Universität Hohenheim; 1977.

Breit S. Zur Anatomie von Hufgelenk und Bursa podotrochlearis beim Pferd im Hinblick auf ihre klinische Relevanz. *Pferdeheilkd.* 1995;11(2):125-138.

Brettschneider J. Computertomographie bei Heimtieren [Dissertation med. vet]. Hannover: Tierärztl. Hochsch; 2001.

Brooks RA, De Chiro G. Theory of image reconstruction in Computed Tomography. Radiology. 1975;117:561-572.

Brüning R, Küttner A, Flohr F. Mehrschicht-CT. Ein Leitfaden. Heidelberg: Springer Medizin Verlag; 2008.

Brüschwein A. Imaging of the foot. 3<sup>rd</sup> World Veterinary Orthopaedic Congress, 15<sup>rd</sup> European Society of Veterinary Orthopaedics and Traumatology Congress; 2010 Sep 15-18; Bologna, Italy.

Bunke J, et al. Physikalisch-technische Prinzipien, In: Freyschmidt J, Schmidt Th., Hrsg. Strahlenphysik, Strahlenbiologie, Strahlenschutz, Berlin Heidelberg: Springer; 2003. S. 1-46.

Burr DB. The Importance of Subchondral Bone in the Progression of Osteoarthritis. The Journal of Rheumatology 2004;31:77-80.

Butler JA, Colles CM, Dyson SJ, Kold SE, Poulos PW. Foot, pastern and fetlock. In: 3<sup>rd</sup> Edition, Oxford: Blackwell Publishing; 2008. p. 53-188.

Buzug TM. Mathematisch-physikalische Grundlagen der Bildrekonstruktion. In: Einführung in die Computertomographie. New York, Berlin/Heidelberg: Springer; 2002.

Calislar T, St. Clair LE. Observation on the navicular bursa and the distal interphalangeal joint of the cavity of the horse. J Am Vet Med Assoc. 1969;154:410-412.

Campbell JR, Lee R. Radiological techniques in the diagnosis of Navicular Disease. Equine Vet J. 1972;4:135-138.

Carlson CS, Cullins LD, Meuten DJ. Osteochondrosis of the Articular-Epiphyseal Cartilage Complex in young horses: Evidence for a defect in cartilage canal blood supply. Vet Pathol. 1995;32:641-647.

Cheung TK, Thompson KT. Development of a three-dimensional electronic solids model of the lower forelimb of the horse. Vet Radiol Ultrasound. 1993;34(5):331-333.

Chotas HG, Dobbins JT, Ravin CE. Principles of digital radiography with large-area, electronically readable detectors: a review of the basics. Radiology 1999;210:595-599.

Claussen C, Lochner B. Dynamische Computertomographie. 1. Aufl. New York, Tokio: Springer Berlin/Heidelberg; 1983.

Clercq de T, Verschooten FM; Ysebaert M. A comparison of the palmaroproximal-palmarodistal view of the isolated navicular bone to other views. Vet Radiol Ultrasound. 2000;41(6):525-533.

Colles CM. The foot. Equine Vet J. 1986;Suppl.4,1-7.

Colles CM. Interpreting radiographs 1: The foot. Equine Vet J. 1983;15(4):297-303.

Colles CM, Hickman J. The arterial supply of the navicular bone and its variations in the navicular disease. Equine Vet. J. 1977;9:150.

Collins JN. Use of computed tomography angiography to evaluate the vascular anatomy of the distal portion of the forelimb of horses. Am J Vet Res. 2004;65:1409-1420.

Dämmrich K. Wachstumsstörungen des Skeletts bei jungen Pferden. Pferdeheilkd. 1985;1:5-13.

Dämmrich K, Brass W, Schebitz H. Gelenke. In: Schebitz H, Brass W. Allgemeine Chirurgie für Tierärzte und Studierende. Berlin-Hamburg: Parey; 1975.

Dämmrich K, Schebitz H, Wintzer HJ. Die Podotrochlose des Pferdes aus heutiger Sicht. Berl Münch Tierärztl Wschr. 1996;9:293-302.

De Buhr W. Vergleich der röntgenologischen und computertomographischen Darstellbarkeit subchondraler Knochenzysten beim Pferd [Dissertation med.vet]. München: LMU, Tiermed. Fakultät; 2002.

Deike UB. Die Entwicklung der röntgenologischen Untersuchung bei der Ankaufsuntersuchung des Pferdes-Eine Literaturstudie [Dissertation med. vet]. München: LMU, Tiermed. Fakultät; 2011.

Delius C. Pathomorphologische und röntgenologische Veränderungen am isolierten Strahlbein beim Pferd [Dissertation med.vet]. Hannover: Tierärztl. Hochsch.; 1982.

Dennis R. An introduction to veterinary CT and MRT scanning. Vet Annual. 1996;16:16-40.

Desbrosse FG, Vandeweerd JMEF, Perrin RAR, Clegg PD, Launois MT, Brogniez L, Gehin SP. A technique for computed tomography of the foot in the standing horse. Equine Vet Ed. 2008;20(2):93-98.

Diehl M, Cordey J. Knochendensitometrie: Mittels axialem Tomograph "Isotom" am gesunden und kranken Strahlbein beim Pferd „in vitro". Berl Münch Tierärztl Wschr. 1983;96:305-307.



Diesterbeck U, Distl O. Review of genetic aspects of radiological alterations in the navicular bone of the horse. Dtsch tierärztliche Wschr. 2007; 114 (11): 404-411.

Dietz O. Hufgelenksentzündung. In: Dietz, O., Huskamp, B., Hrsg. Handbuch Pferdepraxis. 3. Auflage, Stuttgart: Enke; 1999. S.982-984.

Dietz O, Litzke LF. Krankheiten an Fesselgelenk und Fessel. In: Dietz O, Huskamp B, Hrsg. Handbuch Pferdepraxis. 3. Auflage, Stuttgart; Enke; 1999. S.942-944.

Dik KJ, Nemeth F, Merkens HW. Radiologisch-klinische Beschouwingen betreffende Podotrochlose. Tijdschr Diergeneeskd. 1978;103(15):788-797.

Dik KJ. Röntgenologische aspecten van polyarthritis bij veulens (Radiologic aspects of polyarthritis in foals) [Habil.-Schr.] Utrecht: Faculteit Diergeneeskund, Rijksuniversität, Proefschrift; 1981.

DiK KJ. Radiographic examination. In: Wagenaar G. The pre-purchase Examination of the horse. 2<sup>nd</sup> edn., Utrecht: Bunge; 1992. p. 54-78.

Dik KJ. Möglichkeiten und Grenzen der Computertomographie. X. Tagung über Pferdedkrankheiten im Rahmen der Equitana, Essen; 1993.

Dik KJ, van den Broek J. Role of navicular bone shape in the pathogenesis of navicular disease: a radiological study. Equine Vet J. 1995;27:390-393.

Dik KJ, Gunsser I. Erkrankungen der Vorder- und Hintergliedmaße. In: Atlas der Röntgendiagnostik beim Pferd: Band 1., Hannover: Schütersche ; 1987.

Dik KJ, van den Belt AJM, Enzerink E, van Weeren PR. The radiographic development of the distal and proximal double contours of the equine navicular bone on dorsoproximal-palmarodistal oblique (upright pedal) radiographs, from age 1 to 11 months. Equine Vet J. 2001;33(1):70-74.

Doehring W, Urbach D. Die digitale Lumineszenzradiographie (DLR), Teil 1. Fortschr Med. 1991;109(30):610-615.

Drommer W, Dos Reis ACF, Hertsch B, Dammisch S.  
Licht- und elektronenmikroskopische Befunde an den Canales sesamoidales des Strahlbeines bei der Podotrochlose des Pferdes. Pferdeheilkd. 1992;8(1):15-21.

Drum MG, Les CM, Park RD, Norrdin RW, McIlwraith CW, Kawcak CE. Correlation of quantitative computed tomographic subchondral bone density and ash density in horses. Bone 2004;44:316-319.

Dyce KM, Sack WO, Wensing CJG. Anatomie der Haustiere. 1.Aufl., Stuttgart: Enke; 1997.

Dyson SJ. Variations in the normal radiographic anatomy of equine limbs. In Pract. 1988;10:119-125.

Dyson SJ. Lameness due to pain associated with the distal interphalangeal joint: 45 cases. Equine Vet J. 1991;23(2):128-135.

Dyson SJ. Current thoughts on the diagnosis of the navicular syndrome. 3. Geneva Congress of Equine Med. And Surgery, Suisse; 1993.

Dyson SJ. Problems encountered in equine lameness diagnosis with special reference to local analgesic techniques, radiology and ultrasonography. (Phd Thesis), Newmarket, Suffolk: R & W Publications; 1995.

Dyson SJ. Navicular disease and other soft tissue causes of palmar foot pain. In: Ross MW, Dyson SJ. Diagnosis and Management of Lameness in the Horse. 1<sup>st</sup> Eds., St. Louis: Saunders WB, 2003; p. 286-299.

Dyson SJ. Radiological interpretation of the navicular bone. Equine Vet Ed. 2008;20(5):268-280.

Dyson SJ. Radiological interpretation of the navicular bone. Equine Vet Ed. 2011;23:2,73-87.

Dyson SJ, Kidd LA. A comparison of responses to analgesia of the navicular bursa and intra-articular analgesia of the distal interphalangeal joint in 59 horses. Equine Vet J. 1993;25:93-98.

Dyson SJ, Marks D. Foot pain and the elusive diagnosis. Vet Clin North Am Equine Pract. 2003;19(2):531-565.

Dyson SJ, Murray RC. Collateral desmitis of the distal interphalangeal joint in 62 horses (January 2001-December 2003). Proceedings of the 50th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners (AAEP); 2004 Dez 4-8; Denver, Colorado, USA. p 248-256.

Dyson SJ, Murray RC, Schramme MC, Branch M. Magnetic resonance imaging of the equine foot: 15 horses. Equine Vet J. 2003;35:18-26.

Eckstein F, Milz S, Anetzberger H, Putz R. The thickness of the subchondral mineralization zone in normal and arthrotic human patellae. Trans. Orthop. Res. Soc. 1996;42:245-255.

Eckstein F, Reiser M, Englmeier KH, Putz R. In vivo morphometry and functional analysis of human articular cartilage with quantitative magnetic resonance imaging-from image to data, from data to theory. *Anat Embryol*, 2001;203:147-173.

Edwards GB. Interpreting radiographics 2. The fetlock joint and pastern. *Equine Vet J*. 1984;16(1),4-10.

Eliashar E, Christian H, Smith MRW, Hughes T, Archer RM, Perkins JD, Smith RKW. Computed tomographic (CT) findings in the feet of 28 lame horses. *Proceedings of the 15<sup>th</sup> European College of Veterinary Surgeons (ECVS) Congress; 2006; Sevilla*. p.189-192.

Fassbender HG. Die Arthrose - nicht nur ein degenerativer Prozess. In: Fassbender HG, Annefeld M, Wilhelmi G, Hrsg. *Gelenkknorpel und Arthrose*. Stuttgart, Bern: Hans Huber; 1983. S. 7-28.

Fishman E, Derek R, Kawashima A, Scott W, Robertson D. Effect of image display on quality of multiplanar reconstruction of computed tomography data. *Invest Radiol* 1993;28:146-149.

Fleig J, Hertsch B. Zur Differenzierung von Huf- und Krongelenksschale beim Pferd unter besonderer Berücksichtigung der röntgenologischen Befunde. *Pferdeheilkd*. 1992;8:63-76.

Flohr T, Bruder H, Stierstorfer K, Simon J, Schaller S, Ohnesorge B. New technical developments in multislice CT, part 2: sub-millimeter 16-slice scanning and increased gantry rotation speed for cardiac imaging. *Rofo*. 2002b;174:1022-1027.

Flohr T, Ohnesorge B. Cardiothoracic Imaging Postprocessing. In: *Integrated Cardiothoracic imaging with MDCT*. 2009 Part I: 37-51.

Flohr T, Ohnesorge, B Schaller A. Current status and future potentials of multislice computed tomography. *Radiolog*. 2004a;44:113-120.

Flohr T, Schaller S, Stierstorfer K, Bruder H, Ohnesorge B, Schoepf UJ. Multi-detector row CT systems and image-reconstruction techniques. *Radiolog*. 2005;235:756-773.

Flohr T, Stierstorfer K, Bruder H, Simon J; Schaller A. New technical developments in multislice CT--Part 1: Approaching isotropic resolution with sub-millimeter 16-slice scanning. *Rofo*. 2002a;174(7):839-845.

Flohr T, Stierstorfer K, Raupach, R, Ulzheimer S, Bruder H. Performance evaluation of a 64-slice CT system with z-flying focal spot. *Rofo* 2004b;176:1803-1810.

Flynn M. Processing digital radiographs of specific body parts. Chicago Illinois: Radiology Society of North America (RSNA). 2009; p. 71-73.

- Freedmann M, Artz D. Image processing in digital radiography. Semin Roentgenol. 1997;32:25-37.
- Frey MAH. Zur Computertomographie am Karpalgelenk des Pferdes [Dissertation med.vet]. Hannover: Tierärztl. Hochsch.; 2002.
- Fürst A. Behandlung von subchondralen Knochenzysten beim Pferd. XVII. Tagung über Pferdekrankheiten im Rahmen der Equitana, 2007 16./17.3., Essen, Vortragszusammenfassung. S 34-36.
- Gabriel A. Morphometrical study of equine hoof and navicular bone. J Anat. 1998; 193:535-549.
- Galanski M, Prokop M. Ganzkörper-Computertomographie. Stuttgart, New York: Thieme; 1998.
- Gardner DL, McGillivray CD. Living articular Surface is not smooth. Ann Rheum Dis. 1971;30:3-6.
- Garland MR, Lawler LP, Whitaker BR, Walker IDF, Corl FM, Fishman EK. Modern CT Applications in Veterinary Medicine. Radio Graphics. 2002;22(1):55-62.
- Gerhards H. Die tierärztliche Kaufuntersuchung und deren Bedeutung beim Pferdekauf. In: Brückner S, Rahn A, Hrsg. Pferdekauf heute. 10. Aufl., Warendorf: FN-Verlag, 2010; Kap. 7, 216-231.
- Georgi R, Koert A. Qualität von digitalen Röntgenbildern. Pferdespiegel 2005;8(1):38-40.
- Geyer H, Löschmann Y. Histologie der Beugesehnen und ihrer Nachbarorgane distal an der Zehe des Pferdes. Pferdeheilkd. 2007;23(1):39-46.
- Goodrich LR, McIlwraith CW. Subchondral bone cysts- not always an easy diagnosis. Clinical Commentary. Equine Vet Ed. 2008;20:521-524.
- Groth AM, May SA, Weaver MP, Weller R. Intra- und interobserver agreement in the interpretation of navicular bones on radiographs and computed tomography scans. Equine Vet J. 2009;41(2):124-129.
- Haack D, Hertsch B, Baez C. Zystoide Defekte im Hufbein des Pferdes. Pferdeheilkd. 1988;4 (4):143-153.

Haidekker MA, Bidesi A, Radmer S, Andresen R. Texturparameter zur Bestimmung osteoporotisch bedingter Strukturveränderungen im CT-Bild der Wirbelkörperspongiosa-eine Vergleichsstudie. Osteol. 2006;15:120-130.

Hanson JA, Seeherman HJ, Kirker-Head CA, O`Callaghan MW. Scintigraphic and computed tomographic diagnosis of occult intercondylar cyst-like lesions associated with synovitis in five horses. Vet Radiol Ultrasound. 1994;35:238-243.

Hanson J, Seeherman H, O`Callaghan M, Kirker-Head C. Occult intercondylar cavitory lesions in six horses. Proc.4<sup>th</sup> Ann.Sci. Meet. European College of Veterinary Surgeons (ECVS) Konstanz; 1995. p 66-67.

Hanson JA, Seeherman HJ, Kirker-Head CA, O`Callaghan MW. The role of computed tomography in evaluation of subchondral osseus lesions in seven horses with chronic synovitis. Equine Vet J.1996;28:6,480-488.

Haq I, Murhy E, Dacre J. Osteoarthritis. Postgrad Med J. 2003;79:377–383.

Harfst L. Röntgenologische und klinische Reihenuntersuchungen an den Zehen und Sprunggelenken junger Reitpferde [Dissertation med.vet]. Hannover: Tierärztl. Hochsch.; 1986.

Hartung K. Röntgenuntersuchung. In: Dietz O, Huskamp B, Hrsg. Handbuch Pferdepraxis 3. Aufl. Stuttgart: Enke; 2006. S. 14-24.

Hartung K, Tellhelm B. Der Weg zum guten Röntgenbild. Stuttgart: Enke; 2000.

Hartung K, Ludewig E. Röntgenuntersuchung in der Tierarztpraxis. 2. Aufl. Stuttgart: Enke; 2010, S 44-56.

Hathcock J, Stickle RL. Principals and concepts of computed tomography. Vet Clin of North Am. 1993;Small Animal Practice23(2):399-415.

Hayami T, Pickarski M, Wesolowski GA, MCLane J, Bone A, Destefano J, Rodan GA, Duong LT. The role of subchondral bone remodelling in osteoarthritis. Arthritis Rheum. 2004;50(4),1193-1206.

Hertsch B. Die Arthroskopie des Talokruralgelenkes bei der Osteochondrosis dissecans beim Pferd. Swiss Vet. 1991;8:67-71.

Hertsch B. Die Korrelation des röntgenologischen Befundes bei der Lahmheits- und Kaufuntersuchung. Prakt. Tierarzt 1992;9:823-830.

Hertsch B. Leitfaden für die röntgenologische Beurteilung bei der Kaufuntersuchung des Pferdes (Röntgenleitfaden), Vorwort. Pferdeheilkd. 2003;185.

Hertsch B. Die Einflüsse klinischer und röntgenologischer Befunde auf die Gesamtbeurteilung bei der Kaufuntersuchung. *Prakt.Tierarzt* 2004;85:(6)410-416.

Hertsch B. Vorwort zum Röntgenleitfaden RÖLF07. Gesellschaft für Pferdemedizin (Dortmund) und Bundestierärztekammer (Bonn); 2007.

Hertsch B. Vorwort zum Röntgenleitfaden RÖLF07. *Deutsches Tierärzteblatt* 3/2008:292-303.

Hertsch B, Beerhues U. Der Wendeschmerz als Symptom bei der Lahmheitsuntersuchung des Pferdes-pathomorphologische, röntgenologische und klinische Untersuchungen. *Pferdeheilkd.* 1988;4:15-22.

Hertsch B, Delius C. Die Formen der Strahlbeinveränderungen. V. Tagung über Pferdekrankheiten. *Equitana*; 1983, Essen.

Hertsch B, Haack D, Trummer R, Döhring W, De Laat FLAH. Ein Vergleich der Darstellung des Strahlbeins beim Pferd mit Hilfe der herkömmlichen Röntgenübersicht nach Oxspring, der konventionellen Verwischungstomographie, der digitalen Lumineszenzradiographie, der Computertomographie und der Kernspintomographie. *Pferdeheilkd.* 1988;4(2),67-72.

Hertsch B, Höppner S, Leonhardt KM, Merz A. Röntgenologische Befunde warmblütiger deutscher Auktionspferde. *Pferdeheilkd.* 1997;13:97-109.

Hertsch B, Kirchner R, Heinz T, Thomsen K. Verlaufsuntersuchung der röntgenologischen Veränderungen am Processus extensorius und der freien Gelenkkörper im Fesselgelenk vom Fohlen bis zum zweijährigen Warmblut. *Pferdeheilkd.* 1997;13(4):353-360.

Hertsch B, Königsmann D. Die Sagittalfaktur des Strahlbeins beim Pferd- ein Beitrag zur Diagnose und Therapie. *Pferdeheilkd.* 1993;9:3-13.

Hertsch B, Steffen D. Röntgenologische und vergleichend pathomorphologische Untersuchungen an Strahlbeinen unter besonderer Berücksichtigung der Canales sesamoidales. *Dtsch tierärztl Wschr.* 1986;93:353-359.

Hertsch B, Zeller R. Röntgenologische Veränderungen am Strahlbein und ihre Beurteilung. *Praktischer Tierarzt* 1976; 58, Sonderheft Coll. Vet.:14-19.

Hertsch B, Wissdorf H, Zeller R. Die so genannten „Gefäßlöcher“ und ihre Beziehung zum Hufgelenk. *Tierärztl. Praxis* 1982;10:365-379.

Hickmann J. Navicular Disease. 3. Ann. Congress British Eq Vet Assoc. 1964; p.13-18.

Hofer M. CT Kursbuch: Ein Arbeitsbuch für den Einstieg in die Computertomographie. DIDAMED Verlag GmbH Düsseldorf; 2010. S. 6-17.

Hoppe F. Radiological investigations of osteochondrosis dissecans in Standardbred trotters and Swedish Warmblood horses. *Equine Vet J.* 1984;16:425-429.

Hornkamp M. Untersuchungen zur Aussagekraft der Tangentialaufnahmen des Strahlbeins beim Pferd unter besonderer Berücksichtigung unterschiedlicher Aufnahmetechniken [Dissertation med. vet]. Gießen: Justus Liebig Univers. Fachbereich Veterinärmedizin; 1991.

Hornof W, O'Brien T, Pool R. Osteochondritis dissecans of the distal metacarpus in the adult Thoroughbred horse. *Vet Radiol.* 1981;22:98-106.

Horstmann W. Computertomographische Untersuchung des Strahlbeins und des Hufgelenks der Pferdezehe [Dissertation med.vet]. München: LMU, Fachbereich Veterinärmedizin; 2000.

Hounsfield GN. Computerized transverse axial scanning (tomographie). 1. Description of system. *BR J Radiol.* 1973; 46: 1016-1022.

Hounsfield GN. Historical notes on computerized axial tomography. *J Can Assoc Radiol.* 1976;27:135-142.

Houttu J. Arthroscopic removal of osteochondral fragments of the palmar/plantar aspect of the metacarpo/metatarsophalangeal joints. *Eq Vet J.* 1991;23:163-165.

Hu H, He HD, Foley WD, Fox SH. Four multidetector-row helical CT: image quality and volume coverage speed. *Radiology.* 2000;215:55-62.

Huskamp B, Becker M. Diagnose und Prognose der röntgenologischen Veränderungen an den Strahlbeinen der Vordergliedmaße der Pferde unter besonderer Berücksichtigung der Ankaufsuntersuchung. Ein Versuch zur Schematisierung der Befunde. *Prakt. Tierarzt.* 1980;10:858-863.

Jaffe HL. *Metabolic, Degenerative and Inflammatory Diseases of Bones and Joints.* Philadelphia: Lea & Febiger; 1972.

Jahn W. Aktuelles zur Diagnostik von von Arthropathien beim Pferd. BpT-Kongress 2005, 22.-25.09, Bremen, Vortragszusammenfassung; S. 82-85.

Jeffcott LB. Osteochondrosis in the horse- searching for the key to pathogenesis. *Equine Vet J.* 1991;23(5):331-338.

Jeffcott LB, Henson FMD. Studies on growth cartilage in the horse and their application to aetiopathogenesis of dyschondroplasia (Osteochondrosis). *Vet J.* 1998;156:177-192.

Jeffcott LB, Kold SE. Stifle lameness in the horse: A survey of 86 referred cases. *Equine Vet J.* 1982;14:31-39.

Jefferey AK, Blunn GW, Archer CW, Bentley G. Three-dimensional collagen architecture in bovine articular cartilage. *J Bone Joint Surg (Br).* 1991;73:795-801.

Kainer RA. Clinical anatomy of the equine foot. *Vet Clin North Am. Equine Practice.* 1989; 5 (1): 1-46.

Jones S. Vergleich von röntgenologischen Befunden im Rahmen des Röntgenleitfadens 2007 und computertomographischer Darstellung pathomorphologischer Veränderungen an Fesselbein, Gleichbein und Fesselgelenk des Pferdes [Dissertation med.vet]. Leipzig: Veterinärmedizinische Fakultät; 2016.

Kalebo P, Goksor L, Sward L, et al. Soft-tissue radiography, computed tomography and ultrasonography of partial Achilles tendon ruptures. *Acta Radiol* 1990;31:565-570.

Kalender WA. Computertomographie. Grundlagen, Gerätetechnologie, Bildqualität, Anwendungen. 2. Aufl. Erlangen: Publicis Corporate Publishing; 2006.

Kaser-Hotz B, Sartoretti-Schefer S, Weiss R. Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging of the normal Equine Carpus. *Vet Radiol Ultrasound* 1992; 35(6),457-461.

Kaser-Hotz B, Ueltschi G. Radiographic appearance of the navicular bone in sound horses. *Vet Radiol Ultrasound* 1992;30:9-17.

Kawcak CE, McIlwraith CW, Norrdin RW, Park RD, James SP. The role of subchondral bone in joint disease: a review. *Equine Vet J.* 2001;33(2):120-126.

Kelleher ME, Charles EM, MCellan PD, Werpy NM. Magnetic resonance imaging in the purchase examination, seven cases (2006-2008). *Proc Ann Conv AAEP*; 2009. P.55: 418-426.

Keller H. Der Wert der Röntgendiagnostik im Rahmen der Lahmheitsuntersuchung des Pferdes. *Prakt. Tierarzt.* 1972;13:492-494.

Keller H. Aufnahmetechniken zur röntgenologischen Darstellung des Strahlbeins. VI.Tagung über Pferdekrankheiten, Equitana, Essen; 1985.

Keller H. Notwendige Aufnahmen im Rahmen der Ankaufsuntersuchung des Pferdes. Röntgenfachtagung der International Veterinary radiology Association (I. V. R. A.), Bad Pyrmont; 1993.



Keller H, Grundmann S. Radiologische Verlaufsuntersuchung der Podotrochlose. Tierärztl Prax 1995;23:46-52.

Kersjes AW. Die Ankaufsuntersuchung, insbesondere die Bedeutung der Röntgenaufnahme. Prakt. Tierarzt. 1983;3:189-194.

Kettner NU. Erstellung eines Computerprogrammes zur Präsentation des Leitfadens für die röntgenologische Beurteilung bei der Kaufuntersuchung des Pferdes [Dissertation med.vet]. Berlin: Freie Universität, 2003.

Kettner NU, Hertsch B. Bedeutung und Auswirkungen des Röntgenleitfadens. Prakt. Tierarzt. 2005;86(2):108-111.

Kleiter M. Vergleich der Computertomographie, Magnetresonanz und konventionellen Röntgenuntersuchung an der Zehe des Pferdes [Dissertation med.vet]. Wien: Tiermed. Fakultät; 1996.

Kofler J, Kneissl S, Malleczek D. MRI and CT diagnosis of acute desmopathy of the lateral collateral sesmoidean (navicular) ligament and long-term outcome in a horse. Vet J. 2007;174(2):410-413.

Kraft SL, Gavin P. Physical principles and technical considerations for equine computed tomography and magnetic resonance imaging. Veterinary Clinics of North America: Equine Practice. 2001;17(1):115-130.

Kroll A. Zur Osteochondrosis dissecans beim Saugfohlen – eine röntgenologische Studie [Dissertation med.vet]. Berlin: Freie Univ. Fachbereich Veterinärmed., 1999.

Lang J. Röntgeometrische Untersuchungen bei verschiedenen Projektionen des Strahlbeins [Dissertation med.vet]. Bern: Veterinärmed.Fakultät; 1981.

Laubenberger T, Laubenberger J. Technik der medizinischen Radiologie – Diagnostik, Strahlentherapie, Strahlenschutz. 7. Aufl. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln; 1999.

Lauk HD. Kaufuntersuchung- die ständige Herausforderung. Brauchen wir einen erweiterten Standard? Pferdeheilkd. 18. 2002;212-216.

Levoy M. Display of Surfaces from Volume Data, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Computer Graphics and Applications 8(3):29-37, May/June; 1988.

Linsenmaier U, Reiser M. MSCT in der Notfalldiagnostik. Der Radiologe. 2010;49(6):479-480.

Lo WY, Puchalski SM. Digital Image Processing. Vet Radiol Ultrasound. 2008;49(1):Supp.1,42-47.

Marten K, Funke M, Obenauer S, Baum F, Grabbe E. Stellenwert unterschiedlicher Nachverarbeitungsverfahren in der Mehrschicht-Spiral-CT der akuten Lungenembolie. Röfo. 2003;175:635-639.

Mattoon J. Digital radiography. Vet Comp Orthop Traumatol. 2006;19:123-132.

Mattoon JS, Smith C. Breakthroughs in radiography: computed radiography. Compendium Veterinary learning systems. 2004;4:58-66.

Mäule M. Densiometrische Untersuchungen anhand der Computertomographie an der distalen Vordergliedmaße beim Pferd [Dissertation med. vet]. München: LMU, Tierärztliche Fakultät; 2002.

McIlWraith CW. Arthroskopie beim Pferd. Teil 1. Pferdeheilkd. 1985;1:187-195.

McIlWraith CW, Vachon AM. Review of pathogenesis and treatment of degenerative joint disease. Equine Vet J. 1988;6:3-11.

McIlWraith CW. Erkrankungen der Gelenke, Sehnen, Bänder sowie ihre Hilfseinrichtungen. In: Stashak TS, Hrsg. Adam's Lahmheit bei Pferden. 4. Auflage. Hannover: M&H Scharper, Alfeld; 1989. p. 339-447.

McIlwraith CW, Nixon AJ, Wright IM, Boening KJ. Diagnostic and Surgical Arthroscopy in the Horse. 3<sup>rd</sup> eds, Edinburgh, London, New York, Oxford, Philadelphia, St. Louis, Sydney, Toronto: Mosby Elsevier; 2005.

MacGregor C. Radiographic assessment of navicular bones, based on changes in the distal nutrient foramina. Equine Vet. J. 1986;18:203-206.

Martinelli M. Digital imaging advances and the future. Veterinary Clinic of North America: Equine Practice. 2001;17(2):275-295.

Merz A. Röntgenologische Reihenuntersuchung der Zehen und Sprunggelenke, warmblütiger deutscher Auktionspferde der Zuchtverbände: Bayern, Hessen, Holstein, Westfalen [Dissertation med. vet]. Hannover, Tierärztl. Hochsch.; 1993.

Mildenberger P, Kämmerer M, Engelmann U, Ruggiero S, Klos G, Runa A, Schröter A, Weisser G, Walz M, Schütze B. Teleradiologie mit DICOM emails: Empfehlungen der @GIT Fortschr Röntgenstr. 2005;177:597-702.

Möller C. Zur Diagnostik intrakranieller Neoplasien bei Hund und Katze durch vergleichende Anwendung der Magnetresonanztomographie und der Computertomographie [Dissertation med. vet]. Hannover: Tierärztl. Hochsch., 2009.

Morgan JP. Radiology in veterinary orthopedics. Philadelphia: Lea and Febiger; 1972. p. 365-370.

Morneburg H. Bildgebende Systeme für die medizinische Diagnostik: Röntgendiagnostik und Angiographie/ Computertomographie/ Nuklearmedizin/ Magnetresonanztomographie/ Sonographie/ integrierte Informationssysteme. Aufl. 3. Publicis Publishing; 1995.

Müller GB. S- und L-Parameter, Dosis und Empfindlichkeit bei PCR. Philips Medical Systems, Hamburg; 2000.

Müller D. Digitales Röntgen in der Tiermedizin. Kleintiermedizin. 2005;8(3/4):79–83.

Müller D. Digitalisierung von Röntgenbildern. Kleintiermedizin. 2006;8(5/6):141–152.

Müller-Gerbl M. The subchondral bone plate. Adv Anat Emb Cell Biol. 1998;141:1-134.

Münzer B, Hartung K. Röntgenologische Diagnose der Arthropathia deformans. Tierärztl Prax. 1977;5:313-520.

Németh F, Goedegebuure SA, Dik JK. Von Strahlbeinfrakturen beim Pferd. 8. Arbeitstagung der Fachgruppe Pferdekrankheiten. Freiburg, Gießen 1982, S. 38-40.

Neuberth M. Bildgebende Verfahren in der Veterinärmedizin. Tierärztl Prax Suppl. 1993;68-72.

Neuhaus LN. Ursachen für Schadensersatzansprüche gegenüber Tierärzten nach Kaufuntersuchungen beim Pferd - Eine Untersuchung von 189 Schadensfällen aus den Jahren 1978-2005 [Dissertation med.vet]. Berlin: Freie Universität. 2007.

Nickel R, Schummer A, Seiferle E, Habermehl KH, Vollmerhaus B, Wilkens H. In: Lehrbuch der Anatomie der Haussäugetiere. Band III, 3. Aufl. Berlin: Parey, 1992 S. 96; 215-219; 254-257.

Niebauer G, Plenk jun. H, Köppel E, Grundschober F. Zur Pathogenese subchondraler Knochenzysten beim Pferd. Wien tierärztl Mschr.1982;69:345-357.

Nilsson G, Olsson SE. Radiologic and patho-anatomic changes in the distal joints and the phalanges of the Standardbred horses. Acta vet Scand Suppl. 1973;44:1-57.

Nixon AJ. Die Oberfläche des Gelenkknorpels: Struktur und Funktion. Pferdeheilkd. 1993;9:95-10

Nowak M. The role of DDFT Tendinitis in Navicular Syndrome-a CT perspective. In 1<sup>st</sup> World Orthopädic Veterinary Congress Munich; 2002. p. 155-156.

Numans SR, Van de Watering CC. Navicular Disease: Podotrochlitits Chronica Aseptica Podotrochlosis. Equine Vet J. 1973;5(1):1-7.

O'Brien TR. Radiographic interpretation of the navicular bone. In: O'Brien's Radiology for the Ambulatory Equine Practitioner. 1<sup>st</sup> edn., Jackson WY: Teton NewMedia, 2005; 103-123.

O'Brien TR, Hornof WJ, Meagher DM. Radiographic detection and characterization of palmar lesions in the equine fetlock joint. J of the Am Vet Med Assoc. 1981;178(3):231-237.

O'Brien TR, Millmann TM, Poll RR, Suter PF. Navicular disease in the Thoroughbred horse: a morphologic investigation relative to a new radiologic projection. J Am Vet Rad Soc. 1975;16:39-51.

Oexmann B. Sachmangel Pferdekauf–von der Kasuistik zur Typologie. In : Pferderecht. Sozietät Dr. B. Oexmann, Lippetal, 2007.

Ohnsorge B, Flohr T, Schaller S, Klingebeck-Regn K, Becker C, Schopf UJ, Brünning, Reiter MF. Technische Grundlagen und Anwendung der Mehrschicht-Computertomographie. Radiologe. 1999;39:923-931.

Olstad K, Cnudde V, Masschaele B, Thomassen R, Dolvik NI. Micro-computed tomography of early lesions of osteochondrosis in the tarsus of foals. Bone. 2008;43:574-583.

Ostblom L, Melsen F. Histological study of navicular bone disease. Equine Vet J. 1982;14:199-202.

Ostblom L, Melsen F. Navicular bone disease: a comparative histomorphometric study. Equine Vet J. 1989;21(6):431-433.

Ottesen N, Moe M. An introduction to computed tomography (CT) in the dog. Eur J Companion Anim Pract. 1998;8:29-36.

Oxspring GE. The radiology of navicular disease, with observations on its pathology. Vet Rec. 1935;15:1433-1447.

Park RD, Lebel JL. Radiologische Untersuchungen. In: Stashak TA., Hrsg. Adam's Lahmheiten bei Pferden. 4. Aufl. Hannover: M & H Schaper; 1989. p. 157-187.

Parsch D, Ludwig K. Computertomographie des Musculoskeletalsystems. Der Orthopäde. 2006;35(6):644-650.

Peterson PR, Bowman KF. Computed tomographic anatomy of the distal extremity of the horse. Vet Radiol. 1988;29:147-156.

Pool RR, Meagher DM, Stover SM. Pathophysiology of navicular syndrome. Vet Clin N Am, Equine Pract. 1989;5:109-129.

Poteet BA. Veterinary Teleradiology. Vet Radiol Ultrasound. 2008;49:(S1)33-36.

Poulos PW. Radiologic evaluation of the horse relevant to purchase. Vet Clin North Am Equine Pract. 1992;8(2):319-328.

Poulos PW, Smith MF. The nature of enlarged "vascular channels" in the navicular bone of the horse. Vet Radiol. 1988;2:60-64.

Prokop M. Optimizing dosage in thoracic computerized tomography. Radiologe. 2001;41:269-278.

Prokop M. Radiation dose and image quality in computed tomography. Rofo. 2002;174:631-682.

Prokop M. General principles of MDCT. European Journal of Radiology. 2003;45:4-10

Pschyrembel Klinisches Wörterbuch. 259. Aufl. De Gruyter; 2002. S. 278-279.

Puchalski SM, Galuppo LD, Hornof WJ, Wisner ER. Intraarterial contrast-enhanced computed tomography of the equine distal extremity. Vet Radiol Ultrasound 2007;48(1):21-29.

Rademacher-Süß R. Die computertomographische Untersuchung der distalen Zehenregion des Pferdes unter besonderer Berücksichtigung des Hufgelenkes und der Hufrolle. [Dissertation med.vet.]. Gießen: Univ. Gießen, Fachbereich Veterinärmedizin; 2001.

Radin EL, Rose RM. Role of subchondral bone in the initiation and progression of cartilage damage. Clin Orthop. 1986;213:34-40.

Ray CS, Baxter GM, McIlwraith CW, Trotter GT, Powers BE, Park RD, Steyn PF. Development of subchondral cystic lesions after articular cartilage and subchondral bone damage in young horses. Equine Vet J. 1996;28:225-232.

Rechenberg von B. Cystic bone lesions in orses and humans. A comparative Review. Vet Comp orthop Traumatol 1998;11:8-18.

Rechenberg von B. Subchondral cystic lesions in horses [Habilschr.med.vet]. Zürich: Universität Zürich, Veterinärmed. Fakultät; 1999.

Redding W. Pathologic conditions involving the internal structures of the foot. In: Floyd A., Mansman R. Equine podiatry. 1 eds., St. Louis: Saunders; 2007, p. 253-293.

Reinacher M. Gelenke. In: Dahme E, Weiss E, Hrsg.: Grundriss der speziellen pathologischen Anatomie der Haustiere. Verlag Enke, Stuttgart; 2007. S. 246-255.

Rijkenhuizen ABM. Kaufuntersuchung–Klinisch orthopädischer Untersuchungsgang. Pferdeheilkd. 2002;18:231-240.

Rijkenhuizen ABM. Navicular disease: A review of what's new. Equine Veterinary Journal. 2006;38(1):82-88.

Roberts GD, Graham JP. Computed radiography. Vet Clin North Am Equine Pract. 2001;17:47-61.

Robertson ID, Saverid T. Hospital, Radiology, and Picture Archiving and Communication Systems. Vet Radiol Ultrasound. 2008;49(1):Suppl.1,19-28.

Rogalla P, Rüchert JC, Schmidt B. Virtuelle Bronchoskopie. Radiologe 2001;41(3):261-268.

Rose RJ, Taylor BJ, Steel JD. Navicular disease in the horse: An analysis of seventy cases and assessment of a special radiographic view. J Equine Med Surg. 1978;2:492-497.

Rosenstein DS. Computed tomography: What it can and cannot do. 6th annual American College of veterinary Surgeons (ACVS) Symposium, Large animal. San Francisco; 1996. p. 83-85.

Ross MW, Dyson SJ. Diagnosis and Management of Lameness in the horse. St. Louis, Missouri, Saunders. 2003; p. 286.

Röstel-Peters B. Untersuchungen zur Röntgendiagnostik der Podotrochlose [Dissertation med.vet]. Berlin: Freie Univ.; 1987.

Roth V, Mow VC. The intrinsic tensile behaviour of the matrix of bovine articular cartilage and its variation with age. J Bone Joint Surg. 1980;62:1102-1105.

Rowlands JA. The physics of computed radiography. Phys Med Biol. 2002;47:R123-R 166.

Rubin GD, Shiau MC, Schmidt AJ, Fleischmann D, Logan L, Leung AN, Jeffrey RB, Napel A. Computed tomographic angiography: historical perspective and new state-of-the-art using multi detector-row helical computed tomography. J Comput Assist Tomogr. 1999;23(S1):83-90.

Sandgren B. Bony fragments in the tarsocrural and metacarpo- or metatarsophalangeal joints in the standardbred horse-a radiographic survey. Equine Vet J. 1988;6,66-70.

Schäfer JC. Biomechanische Untersuchungen am Fesselgelenk (Articulatio metacarpophalangea) des Pferdes [Dissertation med.vet]. München: LMU, Tierärztl. Fakultät, 2001.

Schäfer C. Strahlbeinzyste beim Pferd. Pferde Spiegel. 2004;2:16-19.

Schaller S, Flohr T, Wolf H, Kalender W. Evaluation of a spiral reconstruction algorithm for a multirow-CT. Abstract Book of the 54th Scientific Assembly & Annual Meeting of the Radiological Society of North America (RSNA); 1998. p. 434.

Schramme M, Murray R, Blunden A, Dyson S. A comparison between MRI, pathology and radiology in 34 limbs with navicular syndrome and 25 control limbs. Proc Am Ass Equine Practitioners. 2005;51:348-358.

Schüle E. Das standardisierte tierärztliche Untersuchungsprotokoll. Pferdeheilkd. 2008;24(2):243-252.

Schneider M, Eckelt U. Grundlagen und Anforderungen an die dreidimensionale, präoperative Diagnostik. Implantologie Journal. 2006;10(1):40-44.

Schulz LU; Dämmrich K. Gelenke. In: Schulz: Pathologie der Haustiere, Teil 1, Gelenke. Gustav Fischer Verlag, Jena; 1991.

Schweike B. Erkrankungen des Fesselgelenks beim Arabischen Pferd [Dissertation med.vet]. Zürich: Univers. Zürich, Vetsuisse Fakultät; 2005.

Selig M. Leitlinien und Empfehlungen - was bedeuten sie für die Veterinärmedizin. Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e.V. 03.09.2010.

Sherlock C, Mair T. Osseous cyst-like lesions/subchondral bone cysts of the phalanges. Equine Veterinary Education. 2011;23(4):191-204.

Silbersiepe E, Berge E, Müller H. Lehrbuch der speziellen Chirurgie für Tierärzte und Studierende. 16. Aufl. Stuttgart: Enke, 1986. S. 317-325.

Sinsbeck H. Die computertomographische Untersuchung des Fesselgelenkbereiches beim Pferd im Vergleich zur konventionellen Röntgenuntersuchung [Dissertation med.vet]. Bern: Veterinärmedizinische Fakultät; 1997.

Smallwood JE, Albright SM, Metcalf MR, Thrall DE. A xeroradiographic study of the developing equine foredigit and metacarpophalangeal region from birth to six months of age. Vet Radiol Ultrasound. 1989;30:98-110.

Smith AJ, Felstead CW, Lawson JS, Weller R. An innovative technique for displaying three dimensional radiographic anatomy of synovial structures in the equine distal limb. Vet Radiol Ultrasound. 2009;50(6):589-599.

Sokoloff L. Microcracks in the calcified layer of articular cartilage. Arch Pathol Lab Med. 1993;17:191-195

Stadler P. Röntgenbefundung bei Ankaufsuntersuchungen-Anspruch und Wirklichkeit. Pferdespiegel. 1/2005:51-53

Stashak TS. Adams` Lahmheit bei Pferden. 4. Auflage Hannover: Shaper; 1989.

Stickle RL, Hathcock JT. Interpretation of computed tomographic images. Vet Clin North Am Small Anim Pract. 1993;23(2):417-435.

Stock KF, Meiners F, Hamann H, Distl O. Analyse der Prävalenz röntgenologischer Untersuchungsbefunde bei Auktionspferden des hannoverschen Warmbluts – Teil 1: Isolierte röntgenologische Verschattungen in verschiedenen Gliedmaßengelenken. Tierärztl Praxis. 2004;32(G),226-235.

Strotzer M, Gmeinwieser J, Völk M, Fründ R, Feuerbach S. Digitale Flachbilddetektortechnik basierend auf Cäsiumjodid und amorphem Silizium: Experimentelle Untersuchungen und erste klinische Ergebnisse. Fortschr Röntgenstr. 1999;170:66–72.

Strotzer M, Völk M, Feuerbach S. Flachdetektoren in der digitalen Radiographie. Sofortbilder hoher diagnostischer Qualität bei reduzierter Strahlenbelastung. Deutsches Ärzteblatt. 2002;99:38.

Sunagawa T, Ochi M, Ishida O, et al. Three-dimensional CT imaging of flexor tendon ruptures in the hand and wrist. J Comput Assist Tomogr. 2003;27:169-174.

Suntum van M. Untersuchungen zur Röntgendiagnostik degenerativer Zehengelenkserkrankungen des Pferdes. Ein Vergleich röntgenologischer und pathologisch-anatomischer Befunde [Dissertation med.vet]. Berlin: Freie Universität; 1983.



Taguchi K, Aradate H. Algorithm for image reconstruction in multi-slice helical CT. Med Phys. 1998;25:550-561.

Takahashi K, Kohda K, Miyahara J. Mechanism of photostimulated luminescence in BaFX: Eu<sup>2+</sup> (X=Cl,Br) phosphors. J Luminescence, 1984,31&32:266-286.

Tellhelm B. Kritische Würdigung der Strahlbeintangentialaufnahmen. Prakt. Tierarzt 1984;66, Sonderh.,56-60.

Tellhelm B. Die Computertomographie – technische Grundlagen und diagnostische Möglichkeiten Vortrag anl. d. 4. Pferdefachtagung der Tierklinik Kerken und der Auwald Tierklinik 1993 Dez 4; Straelen

Tellhelm B, Fritsch R, Reckels FJ. The optimal radiologic presentation of the horse digit under practice conditions. Tierärztl Praxis. 1988;6(4):395-401.

Terberger M. Die differentialdiagnostische Abgrenzung des Processus extensorius des Hufbeins beim Pferd – anatomische, klinische, röntgenologische, pathomorphologische und angiographische Untersuchungen [Dissertation med.vet]. Hannover: Tierärztliche Hochschule; 1998.

Tidwell AS. Advanced imaging concepts: a pictorial glossary of CT and MRI technology. Clinical Techniques in Small Animal Practice. 1999;14(2):65-111.

Tietje S. Die Computertomographie im Strahlbeinbereich des Pferdes: ein Vergleich mit der konventionellen Röntgendarstellung. Pferdeheilkd. 1995;11:51-62.

Tietje S. Zur Bedeutung der Computertomographie beim Pferd Teil 1: Erkrankungen an Kopf und Hals. Prakt Tierarzt. 1996;77:12.

Tietje S. Zur Bedeutung der Computertomographie beim Pferd (243 Fälle). Teil 2: Erkrankungen an den Gliedmaßen. Prakt Tierarzt. 1997;78(1)156.

Tietje S. Computertomographie und Kontrast-CT bei orthopädischen Erkrankungen des Pferdes. Int. Symp. Diagnostik beim Pferd, Bad Homburg; 1997. S. 21-25.

Tietje S, Nowak M, Petzoldt S, Weiler H. Computed tomographic evaluation of the distal aspect of the deep digital flexor tendon in horse. Pferdeheilkd. 2001;17:21-29.

Tipold A, Tipold E. Computertomographische Untersuchungen des Zentralnervensystems bei Kleintieren. Tierärztl Prax. 1991;19:183-191.

Toal RL. The navicular bone. In: Thrall DE. Textbook of veterinary diagnostic radiology. 3<sup>rd</sup> eds. Philadelphia: WB Saunders Co.; 1998. p. 254.

Tóth J. Ein Beitrag zu den Insertionsdesmopathien des Strahlbeins. *Pferdeheilkd.* 1989;5(2):111-114.

Trotter G, Dyson SJ. Osseous cyst like lesions in the distal phalanx. In: Ross M, Dyson S, eds. *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse*. Saunders, St. Louis; 2003. p. 317.

Turner TA. Diagnosis and treatment of the navicular syndrome in horses. *Vet Clin North Am. Equine Pract.* 1989;5:131-144.

Tucker RL, Sande RD. Computed tomography and magnetic resonance imaging in equine musculoskeletal conditions. *Vet Clin of North Am. Equine Practice.* 2001;17(1):45-157.

Türk TR. Mehrschicht-Spiral-Computertomographie: Multiplanare Rekonstruktionen und Maximum Intensity Projections in der Lungendiagnostik [Dissertation med.vet]. München: LMU, Tierärztl. Fakultät; 2008.

Ueltschi G. Die Bedeutung der Strahlbeintangentialaufnahmen für die Beurteilung der Podotrochloseveränderungen. *Prakt. Tierarzt.* 1983a;2:150-153.

Ueltschi G. Podotrochlose-Wert und Häufigkeit röntgenologisch nachweisbarer Veränderungen am Strahlbein. *Berl Münch Tierärztl Wschr.* 1983b;96:308-310.

Ueltschi G. Die Untersuchung des Hufes aus radiologischer und szintigraphischer Sicht. *Praktischer Tierarzt* 72, Sonderh. coll. vet. 1991;85-87.

Ueltschi G. Zur Röntgendiagnostik von degenerativen Gelenkserkrankungen beim Pferd. *Wien Tierärztl Mschr.* 1993;80:81-87.

Ueltschi G. Zur Röntgendiagnostik des Strahlbeins. *Pferdeheilkd.* 2002;18(3):217-224.

Vallance SA, Bell RJW, Spriet M, Kass PH, Puchalski SM. Comparisons of computed tomography, contrast-enhanced computed tomography and standing low-field magnetic resonance imaging in horses with lameness localised to the foot. Part 1: Anatomic visualisation scores. *Equine Vet J.* 2012b;44(1):51-56.

Vallance SA, Bell RJW, Spriet M, Kass PH, Puchalski SM. Comparisons of computed tomography, contrast-enhanced computed tomography and standing low-field magnetic resonance imaging in horses with lameness localised to the foot. Part 2: Lesion identification. *Equine Vet J.* 2012a;44(2):149-156.

Vanderperren K, Ghaye B, Snaps FR, Saunders JH. Evaluation of computed tomographic anatomy of the equine metacarpophalangeal joint. *Am J Vet Res.* 2008;69(5):631-638.

Van Hoogmoed LM, Snyder JR, Thomas HL, Harmon FA. Retrospective evaluation of equine prepurchase examinations performed 1991-2000. *Equine Vet J.* 2003;35:375-381.

Van Suntum M. Untersuchungen zur Röntgendiagnostik degenerativer Zehengelenkserkrankungen des Pferdes – Ein Vergleich röntgenologischer und pathologisch-anatomischer Befunde [Dissertation med.vet]. Berlin: Freie Univ.; 1983.

Van Suntum M, Hartung K. Zur Erkennbarkeit subchondraler zystoider Defekte an den distalen Extremitätengelenken des Pferdes. *Tierärztl Prax.* 1989;17:79-83.

Van Weeren PR. Aktuelles zur Entstehung von Arthropathien beim juvenilen Pferd. Bpt-Kongress 2005, 22.-25.9.2005, Bremen, Vortragszusammenfassung, S. 71-77.

Verschooten F. Post-traumatische beencysten en subchondrale beennecrose bij het paard (Posttraumatic subchondral bone cysts and subchondral bone necrosis in the horse). *Vlaams diergeneesk, Tijdschr.* 1980;49:237-264.

Verschooten F, de Moor A. Subchondral cystic and related lesions affecting the equine pedal bone and stifle. *Equine Vet J.* 1982;14(1):47-54.

Verschooten F, De Moor A, Peremans K. Das Syndrom der Podotrochlose und sein röntgenologischer Aspekt. *Wiener tierärztliche Monatsschrift* 1987;74(2):36-46.

Verschooten F, Roels J, Lampo P, Desmet P, de Moor A, Picavet T. Radiographic measurements from the lateromedial projection of the equine foot with navicular disease. *Res Vet Sci.* 1989;46:15-21.

Verschooten F, Panenkoek M, De Clercq T, Saunders JH, Vandeveld B, Taeymans O, Peremans K. Osteochondral fragments at the distal border of the navicular bone: radiographic and clinical significans. *Proceedings 9th Annual Conference European College of Veterinary Diagnostic Imaging (EAVDI), July 24-27, 2002, Archena, Spain; 2003.*

Von Rechenberg B, McIlwraith CW, Auer JA. Cystic bone lesions in horses and humans: a comparative review. *Vet Comp Orthop Traumatol* 1998;11:8-18.

Wallack S. Digital Image Store. *Vet Radiol Ultrasound.* 2008;49(1):37-41.

Wang HC, Chang CY, Li TY. The comparative efficacy of 2D-versus 3D-based media design for influencing spatial visualization skills. *Comput Hum Behav.* 2007;23:1943-1957.

Werpy NM. Equine imaging modalities. *Proc Ann Conv American Association of Equine Practitioners (AAEP); 2010. 56. p. 297-306.*

Weinberger T. Was bedeutet die Kaufuntersuchung für den Pferdeterarzt? *Pferdespiegel*. 2006;2:50-51.

Whitton RC, Buckley C, Donovan T, Wales AD, Dennis R. The diagnosis of lameness associated with distal limb pathology in a horse: a comparison of radiography, computed tomography and magnetic resonance imaging. *Vet J*. 1998;155:223-229.

Widmer WR, Blevins WE. Radiographic evaluation of degenerative joint disease in horses: Interpretive principles. *Comp. Contin. Educ. Pract. Vet.* 1994;16:907-918.

Widmer WR, Buckwalter KA, Fessler JF, Hill MA, VanSickle DC, Ivancevich S. Use of radiography, computed tomography and magnetic resonance imaging for evaluation of navicular syndrome in the horse. *Vet Radiol Ultrasound*. 2000;41:108-116.

Widmer WR, Fessler JF. Review: Understanding Radiographic Changes Associated with Navicular Syndrome—Are We Making Progress? *Proceedings of the Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners (AAEP)* 2002. p. 155-160.

Widmer WR. Acquisition hardware for digital imaging. *Vet Radiol Ultrasound*. 2008;49:(1)2-8.

Wiemer N. Haftungsfälle Kaufuntersuchung. XVII. Tagung über Pferdekrankheiten im Rahmen der Equitana, Essen, 16./17.3. 2007; S.112-114.

Winkelmeyer S. Licht- und rasterelektronenmikroskopische Befunde an der tiefen Beuge-  
sehne und am Strahlbein in Korrelation zur klinischen Diagnose: Podotrochlose [Dissertation  
med.vet]. Hannover, Tierärztl. Hochschule; 1989.

Winter D, Bruns E, Glodeck P, Hertsch B. Genetische Dispositionen von Gliedmaßenkrankungen bei Reitpferden. *Züchtungsk.* 1996;68:92-108.

Wintzer HJ. Zur Podotrochlitidis chronica aseptica des Pferdes. Eine klinische, pathologisch-anatomische und röntgenologische Studie. Utrecht, Rijksuniv., Veterinärmed. Fak., Proefschr.; 1964.

Wintzer HJ, Dämmrich K. Untersuchungen zur Pathogenese der sogenannten Strahlbeinlahmheit des Pferdes. *Berl Münch Tierärztl Wochenschr.* 1971;84:221-225.

Wissdorf, H., Gerhards, H. und B. Huskamp. Praxisorientierte Anatomie des Pferdes. 3. Aufl. Hannover: M. & H. Shaper Alfeld; 2010.

Wright MA, Balance D, Robertson IA, Poteet B. Introduction to DICOM for the practicing veterinarian. *Vet Radiol Ultrasound*. 2008;49(1),Supp.114-118.

Wright I. A study of 118 cases of navicular disease: Radiological features. Equine Vet. J. 1993;25:493-500.

Wright IM, Kidd L, Thorp BH. Gross, histological and histomorphometric features of the navicular bone and related structures in the horse. Equine Vet J. 1998;30:220-234.

Wyn-Jones G. Fractures of the equine navicular bone. Vet Annu 1985;25:201-210.

Zarucco L, Wisner ER, Swanstrom MD, Stover SM. Image fusion of computed tomography and magnetic resonance images for the development of a three-dimensional musculoskeletal model of the equine forelimb. Vet Radiol Ultrasound. 2006;47:553-562.

Zeller R, Hertsch B, Samy MT. Vorkommen und klinische Beurteilung der Osteochondrosis dissecans (O. d.) im Talokruralgelenk beim Pferd. Dtsch tierärztl Wschr. 1978;85:223-226.

## Anhang

Gesamtklassifizierung des Pferdmaterials anhand des RÖLF 2007 vor und nach der computertomographischen Untersuchung

Pferd	Rö-KL Gesamt	Rö-KL HG-/SB	Nach CT Rö-KL Gesamt	Nach CT Rö-KI HG-/SB	Rö-KL FG	Nach CT Rö-KL FG
15	III-IV	III-IV	IV	IV	II-III	II-III
17	IV	III-IV	IV	III-IV	IV	IV
18	III-IV	III-IV	III-IV	III-IV	I	I
20	III-IV	I	III-IV	I	III-IV	III-IV
22	IV	IV	IV	IV	III-IV	IV
23	III	II-III	III	II-III	III	III
24	III-IV	III-IV	III-IV	III-IV	III-IV	III-IV
25	IV	IV	IV	IV	II-III	II-III
26	II-III	II-III	II-III	II-III	I	II-III
27	II-III	II-III	II-III	II-III	II-III	II-III
28	III-IV	III-IV	IV	IV	II-III	IV
29	III-IV	III-IV	III-IV	III-IV	II-III	II-III
30	III-IV	III-IV	IV	IV	II-III	III-IV
31	III-IV	III-IV	III-IV	III-IV	II-III	II-III
32	III-IV	III-IV	IV	IV	II-III	II-III
33	IV	IV	IV	IV	III	III
34	III-IV	III-IV	III-IV	III-IV	II-III	III-IV
35	III-IV	II-III	III-IV	II-III	III-IV	III-IV
36	IV	I	II-III	I	IV	II-III
37	III	III	IV	IV	II	IV
38	IV	III-IV	IV	IV	IV	IV
39	III-IV	III-IV	III-IV	III-IV	II-III	III-IV
40	IV	IV	IV	IV	IV	IV
41	III	III	III	III	I	I
42	III-IV	III-IV	IV	IV	I	I
43	III	II-III	IV	IV	III	III
44	II-III	II	III-IV	III-IV	II-III	II-III
45	III-IV	II-III	III-IV	II-III	III-IV	III-IV
46	IV	IV	IV	IV	II-III	II-III
47	II-III	II-III	II-III	II-III	II	II-III
48	IV	III-IV	III-IV	III-IV	IV	II-III
49	IV	IV	IV	IV	IV	IV
50	III-IV	II-III	IV	IV	III-IV	III-IV
51	III	III	III	III	II-IV	II-III
52	III-IV	III-IV	III-IV	III-IV	III-IV	III-IV

53	II-III	II-III	III-IV	III-IV	II-III	III-IV
54	III-IV	III	III-IV	III	III-IV	III-IV
55	IV	IV	IV	IV	III-IV	III-IV
56	II-III	II	III-IV	II	II-III	III-IV
57	IV	IV	IV	IV	I	II-III
58	IV	IV	IV	IV	II-III	II-III
59	III	III	III-IV	III-IV	II-III	III-IV
60	III-IV	III-IV	III-IV	III-IV	II-III	II-III
61	III	III	IV	III	II	IV
62	II-III	II-III	IV	IV	II-III	III-IV
63	II-III	II-III	II-III	II-III	II-III	II-III
64	III-IV	III-IV	III-IV	III-IV	II-III	II-III
65	IV	IV	IV	IV	II-III	II-III
66	III-IV	III-IV	III-IV	III-IV	I	I
67	III	III	III-IV	III	I	III-IV
68	III-IV	III-IV	III-IV	III-IV	III-IV	III-IV

## Danksagung

Was lange währt...wird endlich fertig.

Ich danke Herrn Prof. Dr. Bodo Hertsch für die Überlassung des Themas dieser Arbeit, die seinerzeit leider nicht mehr fertig gestellt werden konnte.

Insbesondere möchte ich mich daher auch bei Herrn Prof. Dr. Walter Brehm bedanken, der sich hilfsbereit, unkompliziert und konstruktiv der Unterstützung und Fertigstellung dieser externen Arbeit angenommen hat.

Mein spezieller Dank gilt Herrn Dr. Stephan B. Cihal und Herrn Dr. Frederick J. Phillips, TOMOVET®-GmbH, insbesondere für die freundliche Bereitstellung des Computertomographen und der VITREA®-Workstation sowie für die fachliche Unterstützung bei der Auswertung der CT-Daten. Stephan Cihal lieferte mit seiner Begeisterung für die bildgebende Diagnostik sowie die Präzision und Qualität ihrer Durchführung einen stetigen Impuls zur Fertigstellung der Arbeit.

Desweiteren bedanke ich mich in aller Form bei der GIERTH X-Ray international GmbH, im Besonderen bei Frau Dr. Andrea Meschede, für die großzügige Unterstützung durch die Bereitstellung des digitalen und mobilen DR-Systems Scope X und die entsprechende Software.

Mein Dank geht außerdem an Dr. Jens Körner für die Nutzung der Klinikräume und für seinen fachlichen Rat bei der Auswertung der Röntgenaufnahmen.

Darüber hinaus möchte ich mich ganz herzlich bei Familie Stutzky bedanken, für ihren immerwährenden Einsatz bezüglich der Mazeration der Pferdebeine.

Danken möchte ich ebenso Dörte Tewes für ihre Einarbeitung in puncto CT-Durchführung und Datenverarbeitung, Heinrich Schraad für die Unterstützung bei der Aufarbeitung des Bildmaterials, Hauke Zeiser für die Durchsicht des Manuskripts und meinen Eltern, die mir den Weg bis hierhin ermöglicht haben.

Zu guter Letzt Sara. Danke für eine hervorragende Zusammenarbeit und Ergänzung sowie dafür, dass wir bei all den Hindernissen nicht aufgegeben und unseren Humor nicht verloren haben.